

中华人民共和国国家计量技术规范

**JJF XXXX—XXXX**

**X射线安全检查设备性能模体**

**校准规范**

**Calibration Specification** **of Phantoms Used in X-ray security inspection Equipment**

**（征求意见稿）**

xxxx-xx-xx发布 xxxx-xx-xx实施

**国家市场监督管理总局**发布

X射线安全检查设备性能模体

**JJF XXXX-XXXX**

校准规范

**Calibration Specification for**

**Phantoms Used in X-ray security inspection Equipment**

**归 口 单 位：**全国电离辐射计量技术委员会

**主要起草单位：** 中国测试技术研究院

江苏省计量科学研究院

**参加起草单位：** 烟台市标准计量检验检测中心

宜宾市计量测试所

  上海琼玖探测技术有限公司

图木舒克质量技术监督综合检测检验所

本规范委托全国电离辐射计量技术委员会负责解

**本规范主要起草人：**

张晓栋（中国测试技术研究院）

夏勋荣（江苏省计量科学研究院）

范 杰（中国测试技术研究院）

**参加起草人：**

曹庆新（烟台市标准计量检验检测中心）

王 昆（宜宾市计量测试所）

喻波林（上海琼玖探测技术有限公司）

王传奇（图木舒克质量技术监督综合检测检验所）

目 录

[引 言 II](#_Toc204881300)

[1 范围 1](#_Toc204881301)

[2 引用文件 1](#_Toc204881302)

[3 术语及计量单位 1](#_Toc204881303)

[3.1 术语 1](#_Toc204881304)

[3.2 计量单位 2](#_Toc204881305)

[4 概述 2](#_Toc204881306)

[5 计量特性 2](#_Toc204881307)

[6 校准条件 3](#_Toc204881308)

[6.1 环境条件 3](#_Toc204881309)

[6.2 测量标准及其他设备 3](#_Toc204881310)

[7 校准项目和校准方法 4](#_Toc204881311)

[7.1外观及功能性检查 4](#_Toc204881312)

[7.2直径 4](#_Toc204881313)

[7.3 线宽 5](#_Toc204881314)

[7.4 长度与宽度 5](#_Toc204881315)

[7.5 高度 6](#_Toc204881316)

[7.6 等效原子序数（材料性能确认） 6](#_Toc204881317)

[8 校准结果的表达 7](#_Toc204881318)

[9 复校时间间隔 7](#_Toc204881319)

[附录A校准原始记录（推荐）格式样式 8](#_Toc204881320)

[附录B校准证书内页（推荐）格式样式 10](#_Toc204881321)

[附录C不确定度评定示例 11](#_Toc204881322)

[附录D标准样品 18](#_Toc204881323)

[附录E模体结构图 19](#_Toc204881324)

# 引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了JJF1275《X射线安全检查仪校准规范》、GB/T 23903《射线图像分辨力测试计》、GB 15208.1-2018《微剂量 X射线安全检查设备 第1部分:通用技术要求》、GB 15208.2-2018《微剂量X射线安全检查设备 第2部分：透射式行包安全检查设备》、GB 15208.5-2018《微剂量 X射线安全检查设备 第5部分:背散射物品安全检查设备》。

本规范为首次制定。

X射线安全检查设备性能模体校准规范

##### 范围

本规范适用于X 射线安全检查设备性能模体的首次校准、后续校准及使用中检验。

##### 引用文件

本规范主要引用以下文件：

JJF 1275 X射线安全检查仪校准规范

GB/T 23903-2009射线图像分辨力测试计

GB 15208.1-2018微剂量 X射线安全检查设备 第1部分:通用技术要求

GB 15208.2-2018 微剂量X射线安全检查设备 第2部分:透射式行包安全检查设备

GB 15208.5-2018微剂量 X射线安全检查设备 第5部分:背散射物品安全检查设备

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

##### 术语及计量单位

3.1 术语

1. 线条 line

分辨力测试模块中的规定长度和宽度的金属线，通常由铅、钽或钨等重金属制成。

［来源：GB/T23903-2009.3.1］

1. 线对line pair

均匀排列的一组金属线，两线之间的间隔和线的直径相同。

注：一般用线的标称直径（mm）表示线对的规格

［来源：GB15208.2-2018 3.4］

1. 等效原子序数 effective atomic number

Zeff 代表某种材料属性理论元素的原子序数,该理论元素与这种材料有相同的 X射线衰减特性。

［来源：GB15208.2-2018 3.1］

1. 材料分辨 material differentiation

设备分辨具有不同等效原子序数物质的能力。

［来源：GB15208.2-2018 3.10］

1. 测试体 test block

用于测试和评价X射线图像性能指标的测试物体。

［来源：GB15208.1-2018 3.24］

1. 测试卡 test object

用于测试和评价X射线图像某项指标的测试物体。

［来源：GB15208.1-2018 3.25］

1. 多能谱型X射线安全检查设备 multi-energy X-ray security inspection system

根据不同等效原子序数的物质对X射线能谱吸收特性不同的规律，对不同被检对象的材料特性进行识别并成像的X射线安全检查设备。

［来源：GB15208.1-2018 3.15］

3.2 计量单位

模体几何长度的单位名称：毫米；符号：mm。

##### 概述

X 射线安全检查设备性能模体（以下简称性能模体），是用于测试和评价X 射线安全检查系统图像性能指标的测试体，测试体内包含测试卡。测试卡安装在测试体内的固定板上，并用上、下防护衬板封装成一长方形的测试体，测试体的防护衬板采用发泡聚乙烯板。测试卡是由多种材料制成的具体特定尺寸的模块，可以实现穿透力指标、线分辨力指标、空间分辨力指标、灰度分辨指标、材料分辨指标等。

##### 5 计量特性

1. 直径

表1 直径

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量对象 | 标称范围（mm） | MPE：（mm） |
| 直径 | 0.1~0.5 | ±0.01 |
| 1.0~5.0 | ±0.1 |

1. 线宽

表2 线宽

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量对象 | 标称范围（mm） | MPE：（mm） |
| 宽度 | 0.5~2.0 | ±0.01 |
| 1.0~10 | ±0.1 |

线对宽度为材料宽度，每一组线对材料和空隙的平均占空比应在（0.9~1.1）之间。

1. 长度与宽度

测试体各模块的标称长度与宽度范围为（15.0~250）mm，最大允许误差为：±10%。

1. 高度

测试体各模块的标称高度范围为（0.2~120）mm，最大允许误差要满足表3要求：

表3 高度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量对象 | 标称范围（mm） | MPE： |
| 高度 | 0.2~10 | ±0.05mm |
| 10~120 | ±10% |

1. 等效原子序数

表4 等效原子序数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 测量对象 | 标称范围 | 不确定度 |
| 尼龙6板 | 等效原子序数 | 6.0~15.0 | *U*=0.50（*k*=2） |
| 模拟物板 |
| PVC 板 |

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

##### 6 校准条件

###### 6.1 环境条件

a) 环境温度：（20±2）℃，校准测量期间温度的变化不超过±1℃。

b) 相对湿度：（30~7）%。

c) 气压：（80～106）kPa。

d) 无明显影响校准结果的振动、电磁干扰。

e) 性能模体在实验室内平衡温度的时间不小于2h。

###### 6.2 测量标准及其他设备

1. 千分尺

数显外径千分尺 测试范闱：不小于(0~25) mm, MPE：±0.002 mm。

深度千分尺 测试范围：不小于(0~25) mm, MPE: ±0.010 mm 。

注：能够满足上述量程及最大允许误差要求的计量器具也可以用于相应校准项目的测量。

1. 游标卡尺

测量范围：不小于（0～300）mm，MPE:±0.05mm。

1. 万能工具显微镜

MPE:±0.005mm。

1. 标准样品

见附录D

1. 其他设备

双能X射线成像系统：管电压范围(40~150) kV，管电流范围不小于300 mA，输出稳定性不大于2%；图像处理软件上能够进行长度及面积测量和ROI区信号的获取分析（包含灰度、等效原子序数）。

##### 7 校准项目和校准方法

###### 7.1外观及功能性检查

被校准的安检仪性能模体标识应该清晰，具有生产厂家、型号、出厂编号等信息；结构应该完整，无影响性能指标的明显缺陷。

###### 7.2直径

几何测量法

对于铜线直径与聚乙烯棒直径的测量，如果模体的测量部分可视，采用万能工具显微镜进行测量。将性能模体水平放置在测试平台上，调整镜头的位置、焦距、光圈，使其清晰观测到被测对象。在进行直径测量时，移动目镜中的分划线依次对准铜线或聚乙烯棒的两侧，测得读数a0和a1，两读数之差即为直径的测量值。同一条线上选取三个测量点进行测量，取平均值作为被测对象的直径实测值。计算不同直径被测对象的实测值与标称值之差，按公式（1）计算标称值误差：

*∆d = d0*  (1)

式中：

*∆d* —误差，单位为毫米( mm ) ；

—测量值，单位为毫米( mm ) ；

*d0*—标称值，单位为毫米( mm )

a0 a1

图1 直径测量示意图

若是密封型模体，光路不可达且不可接触，可不校准 。

###### 7.3 线宽

线宽可用万能工具显微镜直接测量。将性能模体水平放置在测试平台上，调整镜头的位置、焦距、光圈，使其清晰观测到空间分辨力模块（线对组）。在进行线宽测量时，移动目镜使其分划线依次对准线条与间隙的两侧，测得读数b1、b2、b3，（b2-b1）为线宽，（b3-b2）为线条间距，在对应的标称线宽内，在横向和竖向上至少选择3组线对束进行测量，取平均值作为线宽实测值，按公式（1）计算线宽的标称值误差，结果与5.2进行比较。

b1

b3

b2

图2线宽测量示意图

###### 7.4 长度与宽度

性能模体各模块的长度与宽度用外径千分尺或游标卡尺直接测量。将性能模体水平放置在测试平台上，用千分尺或游标卡尺测量各模块长度与宽度方向的尺寸L、W，每个模块长宽方向分别取三点测量读数取平均值作为实测值，参考公式（1）计算误差，结果与5.3进行比较。

L

W

图3 各模块长度与宽度测量示意图

###### 7.5 高度

性能模体各模块的高度可用深度千分尺或游标卡尺直接测量。将千分尺或游标卡尺的测量杆垂直放置于模块台阶的底面上，然后移动千分尺或游标卡尺的底板测量面至台阶上表面相接触并读取读数得到台阶高度值，对照表5.4中对应标称值，对每个台阶选取同平面三个不同的测量点进行测量读数取平均值作为实测值，参考公式（1）计算高度标称值误差，结果与5.4进行比较。

H

图4 各模块的高度测量示意图

###### 7.6 等效原子序数（材料性能确认）

图像分析法

将标准样品A和B分别先后水平放置在双能X射线成像系统测试平台上，目标区域摆放位置固定，按照性能模体厂家推荐条件进行曝光扫描，在图像处理系统中选取图像感兴趣区，得到标准试块的等效原子序数Zeff1和Zeff2；将标准样品C参照标准试块用双能X射线成像系统曝光扫描测量得到等效原子序数Zeff3,，用Zeff1、Zeff2和Zeff3对图像处理系统进行线性修正。

将性能模体水平放置在双能X射线成像系统测试平台上，并使得材料性能区域与标准样品刻度摆放位置一致，按照刻度修正的曝光条件进行扫描成像，利用图像分析软件对目标材料选取三个Φ10mm的测量区域（ROI）读取数据取平均值作为实测值，即可获得该目标材料的等效原子序数测量值 ，按公式（2）计算得到最终结果：

*=* （2）

式中：

―目标材料的等效原子序数值

―目标材料的等效原子序数测量值

K —利用标准样品进行等效原子序数修正的系数；

2

1

3

图5材料性能模块的示意图

注：能够满足上述功能和精度要求的测量系统也可以用于相应校准项目的测量，例如安检CT成像系统。

##### 8 校准结果的表达

1. 校准记录

校准记录格式见附录A。

1. 校准结果的处理

校准结果应在校准证书上反映。

校准证书由封面和校准证书内页组成，校准证书内页中校准数据结果格式见附录C。

校准证书上的信息还应包括以下内容：

a)标题，如“校准证书”；

b)实验室名称和地址；进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；

c)校准证书的唯一标识（如证书编号），每页及总页数的标识；

d)送校单位的名称和地址；被校仪器的描述和明确标识（如型号、产品编号等）；

e)校准依据的技术规范的标识，包括名称和代号；

f)校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

g)校准环境的描述；

h校准结果机器测量不确定度的说明；

i)校准证书签发人的签名、职务或等效标识。以及校准日期、签发日期；

j)校准结果仅对被校仪器有效的声明；

k未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

##### 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的，因此送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔不超过12个月。

##### 附录A 校准原始记录（推荐）格式样式

校准原始记录（推荐）格式样式

校准证书编号 原始记录号

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 |  | | | | 联系人 | |  |
| 环境温度 | ℃ | 湿度 | | %RH | 联系电话 | |  |
| 校准地点 |  | | | | 校准日期 | |  |
| 备注 |  | | | | | | |
| 测量设备及其他设备 | 双能X射线成像系统编号 | |  | | | 证书号 |  |
| 万能工具显微镜编号 | |  | | |  |
| 千分尺编号 | |  | | |  |
| 卡尺编号 | |  | | |  |
| 标准样品编号 | |  | | |  |
| 被校仪器 | 仪器名称 | |  | | | | |
| 生产厂家 | |  | | | | |
| 型号规格 | |  | | | | |
| 仪器编号 | |  | | | | |
| 校准依据 |  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准项目： | | | | | | | |
| 校准项目 | 参考值*L* | 实测值 | | | | △*L* | *U*/mm  K=2 |
| 1次 | 2次 | 3次 |  |
| 直径 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 线宽 |  |  |  |  |  |  |  |
| 长度 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 宽度 |  |  |  |  |  |  |  |
| 高度 |  |  |  |  |  |  |  |
| 等效原子序数 |  |  |  |  |  |  |  |

校准员： 核验员：

##### 附录B 校准证书内页（推荐）格式式样

校准证书内页（推荐）格式式样

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 证书编号 ××××××－××××   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 客户名称： | | | | | 仪器名称： | | | | | | 设备型号： | | 设备编号： | | | 制造厂家： | | | 校准日期： | | | 校准环境条件及地点： | | | | | | | | | | | 温 度 | ℃ | | | 地 点 | |  | | | | | 相对湿度 | % | | | 其 他 | |  | | | | | 测量标准及其他设备 | | | | | | | | | | | 名 称 | 测量范围 | | 不确定度／准确度等级／最大允许误差 | | | | 计量标准证书编号 | | 有效期至 | |  |  | |  | | | |  | |  | | 校 准 结 果   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 校准项目 | 校准模块 | 标称值 | 实测值 | | | 误差 | 不确定度 | | 直径 |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | | 线宽 |  |  |  |  |  |  |  | | 长度 |  |  |  |  |  |  |  | | 宽度 |  |  |  |  |  |  |  | | 高度 |  |  |  |  |  |  |  | | 等效原子序数 |  |  |  |  |  |  |  | | | | | | | | | | |   第×页 共×页 |

##### 附录C 不确定度评定示例

**直径误差测量不确定度评定示例**

1. 直径的不确定度评定示例
2. 测量方法

以万能工具显微镜按照7.2.2方法测量铜线直径

1. 测量模型

铜线直径误差按式 (C.1)计算：

∆*d=d0* (C.1)

式中 ：

∆*d*—示值误差，mm；

*d0*—铜线直径标称值，mm；

—铜线直径3次测量的平均值，mm；

1. 测量不确定度来源分析

根据测量模型，测量主要不确定度来源包括以下3部分 ：

1. 铜线直径标称值引入的不确定度
2. 校准点的铜线直径标准参考值测量重复性引入的不确定度
3. 标准溯源引入的不确定度
4. 标准不确定度分量的评定

以安检仪性能模体中正弦曲线锡青铜线直径的校准为例，在环境温度20.3℃和相对湿度49％的条件下测量，数据见表C.1。

1）按式（C.1），灵敏系数为

C1(*d0*)=1 (C.2)

C2()=−1 (C.3)

2）线直径标称值引入的不确定度u(*d0*)

标称值作为给定数值，它引入的标准不确定度为0，标称值的误差反应在示值误差中

3）测量重复性引入的不确定度: = S/ （测量工具的分辨率引入的不确定度分量比测量重复性引入的不确定度分量小，故不予考虑）

表C.1 测量数据 单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 测量次数 | | | | | | | | | |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 0.078 | 0.076 | 0.076 | 0.078 | 0.078 | 0.076 | 0.080 | 0.080 | 0.078 | 0.078 | 0.0015 | 0.0009 |
| 2 | 0.103 | 0.104 | 0.100 | 0.101 | 0.101 | 0.099 | 0.098 | 0.102 | 0.104 | 0.101 | 0.0020 | 0.0012 |
| 3 | 0.125 | 0.127 | 0.127 | 0.128 | 0.126 | 0.125 | 0.128 | 0.127 | 0.128 | 0.127 | 0.0011 | 0.0007 |
| 4 | 0.162 | 0.160 | 0.159 | 0.158 | 0.161 | 0.157 | 0.162 | 0.161 | 0.162 | 0.164 | 0.0021 | 0.0012 |
| 5 | 0.204 | 0.202 | 0.203 | 0.201 | 0.204 | 0.202 | 0.203 | 0.202 | 0.203 | 0.201 | 0.0011 | 0.0006 |
| 6 | 0.255 | 0.256 | 0.255 | 0.257 | 0.257 | 0.255 | 0.253 | 0.254 | 0.255 | 0.254 | 0.0013 | 0.0007 |
| 7 | 0.511 | 0.507 | 0.508 | 0.510 | 0.510 | 0.514 | 0.510 | 0.513 | 0.505 | 0.509 | 0.0027 | 0.0016 |

注：实际校准取3次测量平均值。

4）标准器引入的不确定度: ）==0.002/=0.001155mm

1. 合成标准不确定度

合成标准不确定度按式(C.4)计算：

（C.4）

1. 确定扩展不确定度

取包含因子k=2, 正弦曲线锡青铜线直径标识误差的扩展不确定度*U*=*k* ,k=2。

表C.2 不确定度评定一览表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 标称值/mm |  | /mm | /mm | /mm | /mm | *U*/mm（k=2） |
| 1 | 0.0787 | -1 | 0.0009 | 0.001155 | 0.00144 | 0.00144 | 0.003 |
| 2 | 0.101 | -1 | 0.0012 | 0.001155 | 0.00158 | 0.00158 | 0.003 |
| 3 | 0.127 | -1 | 0.0007 | 0.001155 | 0.00133 | 0.00133 | 0.003 |
| 4 | 0.160 | -1 | 0.0012 | 0.001155 | 0.00154 | 0.00154 | 0.003 |
| 5 | 0.202 | -1 | 0.0006 | 0.001155 | 0.00131 | 0.00131 | 0.003 |
| 6 | 0.254 | -1 | 0.0007 | 0.001155 | 0.00137 | 0.00137 | 0.003 |
| 7 | 0.511 | -1 | 0.0016 | 0.001155 | 0.00196 | 0.00196 | 0.004 |

**高度误差测量不确定度评定示例**

1. 高度测量不确定度评定示例
2. 测量方法

用深度千分尺或游标卡尺按照7.4方法测量性能模体各模块高度

1. 测量模型

性能模体各模块的高度误差按式（C.5）计算：

∆*H =H0* (C.5)

式中 ：

∆*H*—模块高度的标识误差，mm；

*H0*—模块高度标称值，mm；

—模块高度3次测量的平均值，mm；

1. 测量不确定度来源分析

根据测量模型，主要不确定度来源有标准溯源引入的不确定度、校准点高度参考值的测量重复性引入的不确定度、高度标称值引入的不确定度

1. 标准不确定度分量的评定
2. 标准溯源引入的不确定度:在(0～10)mm与（10～150）mm范围内分别用深度千分尺与游标卡尺对高度进行测量，对应的不确定度分量， =0.002/=0.0012mm，=0.05/=0.0289mm
3. 测量重复性引入的不确定度: = S/（测量工具的分辨率引入的不确定度分量比测量重复性引入的不确定度分量小，故不予考虑）

表C.3 测量数据 单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值 | 测量次数 | | | | | | | | | |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 1.004 | 1.000 | 1.008 | 0.996 | 1.000 | 0.996 | 0.992 | 1.000 | 1.004 | 1.012 | 0.0060 | 0.0035 |
| 3 | 3.012 | 3.004 | 3.000 | 3.000 | 2.992 | 2.998 | 3.008 | 3.016 | 3.008 | 3.000 | 0.0072 | 0.0042 |
| 5 | 5.004 | 5.016 | 5.012 | 5.004 | 5.004 | 4.992 | 4.992 | 4.996 | 5.008 | 5.008 | 0.0081 | 0.0047 |
| 10 | 10.004 | 10.020 | 10.012 | 10.004 | 10.000 | 9.996 | 9.992 | 9.996 | 10.008 | 10.008 | 0.0084 | 0.0049 |
| 25 | 25.05 | 25.10 | 25.05 | 25.00 | 24.95 | 24.95 | 24.90 | 25.00 | 25.05 | 25.15 | 0.0435 | 0.0435 |
| 50 | 50.05 | 50.20 | 50.05 | 49.90 | 49.95 | 50.05 | 50.10 | 50.10 | 50.05 | 50.20 | 0.0944 | 0.0545 |
| 100 | 100.25 | 100.05 | 100.15 | 100.20 | 100.25 | 100.10 | 100.00 | 99.90 | 99.85 | 99.95 | 0.1438 | 0.0830 |

注：实际校准取3次测量平均值。

1. 高度标称值引入的不确定度

标称值作为给定数值，它引入的标准不确定度为0，标称值的误差反应在示值误差中

1. 合成标准不确定度

合成标准不确定度按式(C.4)计算：

（C.6）

1. 确定扩展不确定度

取包含因子k=2, 模块高度标识误差的扩展不确定度*U*= *k*，k=2。

表C.4不确定度评定一览表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/mm |  | /mm | /mm | /mm | /mm | *U*/mm（k=2） |
| 1 | -1 | 0.0012 | 0.0035 | 0.0042 | 0.0042 | 0.008 |
| 3 | -1 | 0.0012 | 0.0042 | 0.0048 | 0.0048 | 0.010 |
| 5 | -1 | 0.0012 | 0.0047 | 0.0052 | 0.0052 | 0.010 |
| 10 | -1 | 0.0012 | 0.0049 | 0.0054 | 0.0054 | 0.011 |
| 25 | -1 | 0.0289 | 0.0435 | 0.0522 | 0.0522 | 0.104 |
| 50 | -1 | 0.0289 | 0.0545 | 0.0617 | 0.0617 | 0.123 |
| 100 | -1 | 0.0289 | 0.0830 | 0.0879 | 0.0879 | 0.176 |

**等效原子序数测量不确定度评定示例**

1. C.3等效原子序数测量不确定度评定示例
2. 测量方法

用双能X射线成像系统对性能模体的材料性能区域进行扫描测量得到不同材料等效原子序数，并计算结果。

1. 测量模型

材料的等效原子序数按式（C.7）计算

*Z=*  （C.7）

*z* —材料的等效原子序数；

*K*—利用标准样品进行等效原子序数修正的系数；

—材料等效原子序数3次测量的平均值；

1. 测量不确定度来源分析

测量结果的不确定度由图像分析系统线性拟合修正（标准测量系统修正）引入的不确定度分量*μ1*(*k*)和性能模体测量本身贡献的不确定度分量*μ*2()构成，由于校准测量是在实验条件下且在较短的时间内完成，温度、气压等条件的变化对测量值的影响微小，这些因素的不确定度分量可以忽略。

1. *μ1*(*k*)包含：线性拟合引入的不确定度分量；X射线辐射源不稳定性引入的不确定度分量；标准样品纯度引入的不确定度；
2. *μ*2()包含：线性拟合引入的不确定度分量；；性能模体测量重复性引入的不确定度分量（包含X射线辐射源的重复性及图像分析系统的分辨力贡献的不确定度分量）
3. 测量数据

利用标准样品对图像分析系统进行线性拟合修正引入的不确定分量：用三种不同已知等效原子序数的标准样品对图像分析系统进行线性拟合校正，然后再测量性能模体材料性能区域得到不同材料的等效原子序数，信息如下：

拟合公式:Y=a+bX（a-截距，b-直线斜率），X代表标准样品等效原子序数实际值，Y代表相应的图像分析系统测量值，

R2：0.9992

参数：a=0，b=1.0467

标准偏差:0.144

1. 标准不确定度分量的评定
2. 计算灵敏系数

C1(*k*）=1 （C.8）

C2()=1 （C.9）

1. 线性拟合修正引入的不确定度（*k*）

（*k*）=0.144；

1. X射线辐射场稳定性引入的不确定度（*k*）

同一样品在测量等效原子序数时在不同时间因辐射源不稳定性引入的不确定度分量为0.5%，取均匀分布，则辐射场均匀性引入的不确定度分量为：

*μ*12=*Z*eff；

1. 标准样品纯度引入的不确定度（*k*）

三种标准样品因纯度引入的不确定度分量为0.1%，取均匀分布，则辐射场均匀性引入的不确定度分量为：

*μ*12=*Z*eff；

1. 线性拟合引入的不确定度

同2）；

1. 被校模体测量重复性引入的不确定度分量引入的不确定度

测量重复性引入的不确定度： = S/；

表C.5 测量数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值 | 测量次数 | | | | | | | | | | S |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 6.2 | 6.23 | 6.20 | 6.22 | 6.21 | 6.23 | 6.20 | 6.18 | 6.21 | 6.18 | 6.21 | 0.0057 | 0.0033 |
| 9.8 | 9.85 | 9.86 | 9.83 | 9.84 | 9.83 | 9.85 | 9.86 | 9.83 | 9.83 | 9.83 | 0.0083 | 0.0048 |
| 14.3 | 14.32 | 14.35 | 14.30 | 14.31 | 14.36 | 14.30 | 14.29 | 14.32 | 14.35 | 14.36 | 0.0267 | 0.0154 |

注：实际校准取3次测量平均值。

1. 合成相对标准不确定度

（C.10）

1. 扩展不确定度

取包含因子k=2，等效原子序数误差测量不确定度评定的扩展不确定度，=2。

表C.6不确定度评定一览表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称原子序数 | *C*(*k*) |  |  |  |  |  |  |  | *U*/  k=2 |
| 6.2 | 1 | 0.144 | 0.0072 | 0.00144 |  | 0.144 | 0.0033 | 0.2038 | 0.41 |
| 9.8 | 1 | 0.144 | 0.0113 | 0.00226 |  | 0.144 | 0.0048 | 0.2040 | 0.41 |
| 14.3 | 1 | 0.144 | 0.0165 | 0.00330 |  | 0.144 | 0.0154 | 0.2049 | 0.41 |

##### 附录D 标准样品

标准样品应满足以下要求：

标准样品A：纯铝试件（纯度99.99%以上） 材料均匀性良好

外观尺寸：长×宽×高 （100×100×25）mm

标准样品B：石墨试件（纯度99.999%以上） 材料均匀性良好

外观尺寸：长×宽×高 （100×100×25）mm

标准样品C：液体纯净水 容量：1L

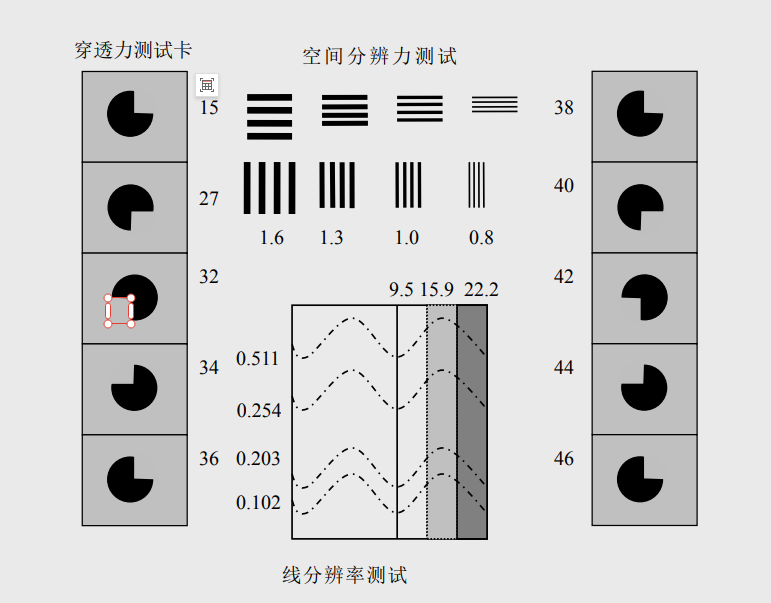
容器形状：敞口圆柱形 直径：Φ100mm 材质：PET

##### 附录E 模体结构图

透视式安全检查仪模体 A

模体 A 至少应该包括 3 种测试体：线分辨力测试卡、空间分辨力测试卡和穿透力测试 卡。其中线分辨力测试卡由几根波浪形实芯铜线组成，至少具有直径 0.10mm 、0.20mm、 0.25mm 和 0.51mm 的铜线；空间分辨力测试卡由几组铜材料线对构成，至少具有线宽为 1.6mm 和 1.0mm 的线对组，每组线对占空比应在 0.9～1.1 之间；穿透分辨力测试卡由碳钢 阶梯和上面的铅块组成，至少具有厚度值为 15mm、27mm 和 38mm 的钢阶梯。

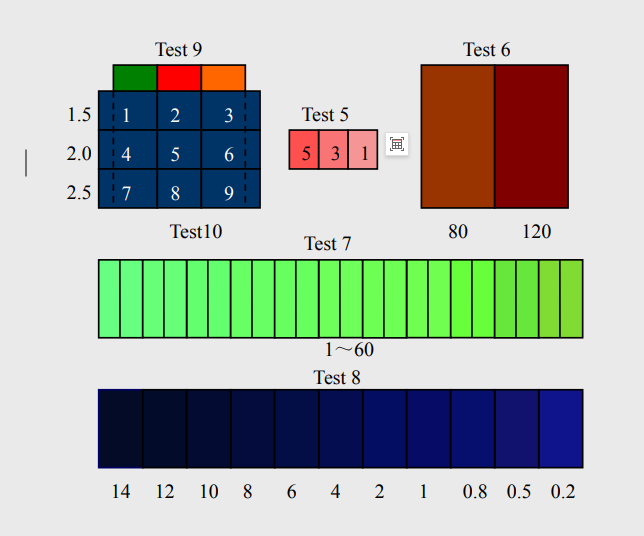




图A.1 模体A1 结构图

透视式安全检查仪模体B

模体 B 至少包括 5 个测试卡：有机物分辨卡（Test5 和 Test6）、灰度分辨/混合物测试卡（Test7）、无机物分辨测试卡（Test8）、材料分辨测试卡（Test9）和有效材料分辨测试卡 （Test10）。其中 Test5 由 ABS 塑料板制成；Test6 由厚度不同的聚甲基丙烯酸甲酯组成；Test7 由合金铝阶梯（5A02）和厚铝阶梯（2A12）组成；Test8 由薄钢阶梯（SPCC）和厚钢板阶 梯（Q235B）组成；Test9 由尼龙 6 板、模拟物板和 PVC 板组成；Test10 在 Test9 基础上加 个碳钢阶梯（SPCC）,具体参数和结构见图 B.1,



图B.1 模体B结构图

背散射式安全检查仪模体C

模体C由几组不同直径的聚乙烯棒及边框（材料铝）组成，用于背散射式安全检查仪的线分辨力校准。聚乙烯棒密度密度0.95g/cm±0.05 g/cm；至少具有直径为2.0mm、2.5mm、3.0mm、3.5mm和4.0mm的五组聚乙烯棒，直径的MPE:±10%，具体结构及外尺寸大小可参照国标GB15208.5-2018中附录A。

背散射式安全检查仪模体D

模体D由几组聚乙烯板制成的线对卡及固定支架组成，用于背散射式安全检查仪的空间分辨力校准。聚乙烯板密度密度0.95g/cm±0.05 g/cm；至少具有线宽为3mm、4mm、5mm、6mm和7mm的五组线对，其占空比满足0.9～1.1之间，具体结构及外尺寸大小可参照国标GB15208.5-2018中附录A。

便携式安全检查仪模体E

模体E底板长³宽³高为210 mm×125 mm×9.5 mm的ABS板；底板上固定有不同高度的钢阶梯和聚甲醛阶梯(polyformaldehyde,POM)，其中钢阶梯共12级，每级钢阶梯长×宽为50 mm×15 mm，高度范围从3mm至36mm，依次递增3mm，每级POM阶梯长×宽为30 mm×30 mm，高度为1.5 mm和3mm；

