

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx-202X

货物运输 X 射线安全检查仪 校准规范

Calibration Specification

for Transmission Cargo 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

货物运输 X 射线安全检查仪 校准规范

JJF XXXX-202X

Calibration Specification

for Transmission Cargo 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：浙江省计量科学研究院

中国测试技术研究院

北京市计量检测科学研究院

杭州睿影科技有限公司

本规范委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

陈 灿（浙江省计量科学研究院）

颜迪新（浙江省计量科学研究院）

李 建（浙江省计量科学研究院）

范 杰（中国测试技术研究院）

罗 琛（北京市计量检测科学研究院）

吴欢欢（杭州睿影科技有限公司）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 泄漏辐射	2
5.2 图像	2
5.2.1 穿透力	2
5.2.2 线分辨率	3
5.2.3 穿透分辨率	3
5.2.4 空间分辨率	3
5.2.5 有机物分辨	3
5.2.6 混合物分辨	3
5.2.7 无机物分辨	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准器及其他设备	4
7 校准项目与校准方法	4
7.1 外观及功能检查	4
7.2 泄漏辐射	4
7.3 图像	5
8 校准结果表达	6
8.1 校准记录	6
8.2 校准结果的处理	6
9 复校时间间隔	6
附录 A 测试体	7
附录 B 散射体	14
附录 C 货物运输 X 射线安全检查仪校准原始记录推荐格式样式	15
附录 D 校准证书内页推荐格式	16
附录 E 不确定度评定示例	17

引 言

本规范按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

货物运输 X 射线安全检查仪校准规范

1 范围

本规范适用于透射式货物运输 X 射线安全检查仪（以下简称货物安检仪）的校准，不适用于 X 射线发生装置能量大于 500 keV 的 X 射线安全检查系统及车辆安全检查类系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1035 电离辐射计量术语及定义

JJF 1275 X 射线安全检查仪

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 15208.3-2018 微剂量 X 射线安全检查设备 第 3 部分:透射式货物安全检查设备

GBZ 130-2020 放射诊断放射防护要求

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。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 周围剂量当量 ambient dose equivalent $H^*(10)$

辐射场中某点的剂量当量是相应的齐向扩展辐射场在 ICRU 球体内、与齐向扩展场方向相反的半径上、深度为 10mm 处产生的剂量当量。

3.1.2 周围剂量当量率 ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$

$dH^*(10)$ 与 dt 的商，其中 $dH^*(10)$ 是周围剂量当量在时间间隔 dt 内的增量：

$$\dot{H}^*(10) = \frac{dH^*(10)}{dt}$$

3.1.3 散射体 scatter block

使射线产生散射，从而产生最恶劣辐射条件的物体。

3.1.4 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。

3.1.5 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。

3.2 计量单位

周围剂量当量率的单位：微希[沃特]每小时；符号： $\mu\text{Sv/h}$ 。

4 概述

货物安检仪是指一种利用 X 射线对货运物品进行现场安全检查的装置，其任意一个检查通道入口截面的高、宽尺寸中最大单边长度大于或等于 0.91m、小于或等于 2.41m。通过测量穿过被检对象的 X 射线强度分布或能谱分布，生成被检对象图像或提供被检对象材料信息，据此对被检对象的安全性进行判识。货物安检仪主要由 X 射线发生器、成像设备和控制系统等组成。

货物安检仪按检查通道入口截面的尺寸分类，见表 1。

表 1 设备分类

设备类型	最大单边尺寸 L / (mm)
I型	$910 \leq L \leq 1210$
II型	$1210 \leq L \leq 1510$
III型	$1510 \leq L \leq 1810$
IV型	$1810 \leq L \leq 2110$
V型	$2110 \leq L \leq 2410$

5 计量特性

5.1 泄漏辐射

货物安检仪按照条款 7.2 的测量位置进行测量，其周围剂量当量率应小于或等于 $1.0\mu\text{Sv/h}$ ；工作人员位置的周围剂量当量率应小于或等于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5.2 图像

具有多个透射视角的设备，其任意一个视角的性能指标均应符合下述要求，并以各视角每项测试结果中最差值作为设备的该项性能指标；具有多个检查通道的设备，其任意一个检查通道的性能指标均应符合下述要求，并以各检查通道每项测试结果中最差值作为设备的该项性能指标。

5.2.1 穿透力

不同类型货物安检仪能分辨最薄钢板厚度的要求如下，见表 2。

表 2 穿透分辨力要求

类型	I型	II型	III型	IV型	V型
穿透力/mm	30	40	45	50	55

5.2.2 线分辨力

不同类型货物安检仪应能分辨最小实芯铜线直径的要求如下，见表 3。

表 3 线分辨力要求

类型	I型	II型	III型	IV型	V型
线分辨力/mm	0.203	0.203	0.203	0.203	0.511

5.2.3 穿透分辨力

不同类型货物安检仪能分辨厚度为 9.5mm、15.9mm、22.2mm 和 27.1mm 合金铝阶梯下最小单根实芯铜线直径的要求如下，见表 4。

表 4 穿透分辨力要求

类型	I型	II型	III型	IV型	V型
穿透分辨力/mm	0.511	0.511	0.511	0.511	0.813

5.2.4 空间分辨力

不同类型货物安检仪能分辨最小线对直径的要求如下，见表 5。

表 5 空间分辨力要求

类型	I型	II型	III型	IV型	V型
空间分辨力/mm	2	2	2.4	2.4	2.4

5.2.5 有机物分辨

能分辨厚度范围为 40mm~160mm 的聚甲基丙烯酸甲酯阶梯，并赋予不同饱和度的橙色。

5.2.6 混合物分辨

能分辨厚度范围为 1 mm~80 mm 的合金铝阶梯，并赋予不同饱和度的绿色。

5.2.7 无机物分辨

能分辨厚度范围为 0.2 mm~24mm 的钢阶梯，并赋予不同饱和度的蓝色。

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

6.1.1 环境温度：（5~40）℃。

6.1.2 相对湿度：（5~85）%。

6.1.3 大气压力：（70~106）kPa。

6.1.4 无明显影响校准结果的振动、电磁干扰。

6.2 测量标准器及其他设备

6.2.1 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量（率）仪和监测仪

便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量（率）仪和监测仪能量响应满足-23%~+43%，相对固有误差应满足-15%~+22%。辐射防护用 X 辐射剂量当量（率）仪或剂量（率）仪推荐使用 NaI(Tl)、CsI(Tl)和 HPGe 等脉冲计数型辐射探测器的 X 辐射剂量当量（率）仪或剂量（率）仪。

注：注意探测器有效测量点距离仪器测量表面的距离应小于 0.1m。

6.2.2 其他设备

a) 测试体

分为测试体 A 和 B，见附录 A。

b) 散射体

见附录 B。

7 校准项目与校准方法

7.1 外观及功能检查

7.1.1 被校设备结构完整，无影响正常工作和校准的缺陷和机械损伤。

7.1.2 被校设备的控制按钮标识清晰，易于操控，有符合辐射安全的相应的警告提示和紧急停止开关。

7.1.3 被校设备应具有生产厂家、型号和编号等标识。

7.1.4 被校设备开机应能正常工作。

7.2 泄漏辐射

测量被校设备工作环境的天然本底，取 5 个读数的平均值作为 $\dot{H}^*(10)_b$ 结果；将散射体置于检查区域中心位置或被检对象位置，被校设备设置为最大辐射输出条件下工作（如无法设置，可以使用常规条件），在距设备的任何可达表面 0.1m 处（包括行包检查的入口、出口处）和工作人员位置均匀选择 3 个点测量周围剂量当量率，每个点测量 3 次求平均值，以下式计算周围剂量当量率作为测量结果。

$$\dot{H}^*(10) = \dot{H}^*(10)_{\text{tmax}} - \dot{H}^*(10)_b \quad (1)$$

式中：

$\dot{H}^*(10)$ ——测试点周围剂量当量率（不含本底且校准）， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}^*(10)_{\text{tmax}}$ ——测试点周围剂量当量率平均值中的最大值（含本底）， $\mu\text{Sv/h}$ ；

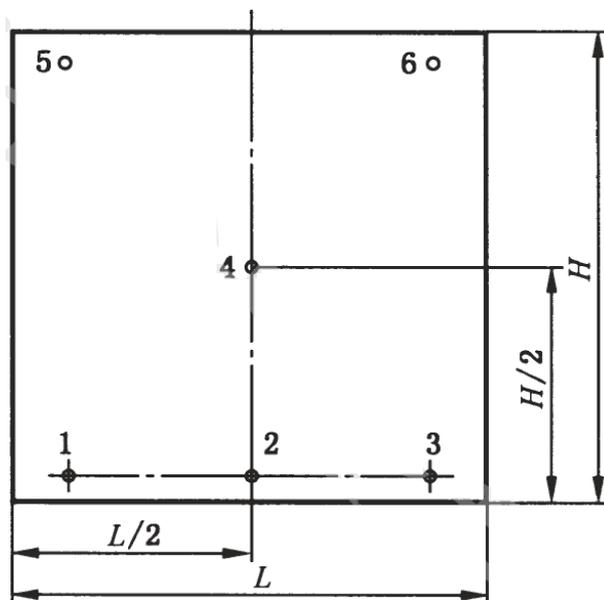
$\dot{H}^*(10)_b$ ——天然本底周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3 图像

7.3.1 货物运输 X 射线安全检查仪

测试体的摆放位置和方向取决于设备 X 射线产生装置和探测器的相对位置。应根据不同性能指标测试的要求，按规定位置放置测试体，测试体放置见图 1。在 1、2、3 点校准时测试体应紧贴输送装置表面放置，并且在 1 点处测试体应尽量靠近检查通道左侧，在 3 点处测试体应尽量靠近检查通道右侧，在 5 点处测试体应尽量靠近检查通道左侧和顶部，在 6 点处测试体应尽量靠近检查通道右侧和顶部。

仪器正常运行，测试体平面垂直于射线发射方向，同时允许采用图像处理工具以得到最佳测试体的图像。



H ---校准通道的高度 L ---校准通道的宽度

图 1 校准位置示意图

7.3.2 穿透力

将测试体 A 分别放置在检查区域的位置 1 到位置 6，启动并完成扫描，目测显示器上测试体 A 的 X 射线图像，如果可以看到被钢板遮挡的四分之三圆铅块的绝大部分且能分辨缺口的方向，则可认为设备能穿透此钢板；而每个位置均能分辨的四分之三圆铅块所对应钢板的最大厚度即为设备能穿透钢板的厚度值。

7.3.3 线分辨力

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果可以看到实芯铜线的全部，则可认为能分辨此铜线。

7.3.4 穿透分辨力

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果可以看到被合金铝阶梯遮挡的实芯铜线的全部，则可认为能分辨此铜线。

7.3.5 空间分辨力

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果水平和垂直的全部 4 条铜线都能完整区分开，则可认为能分辨此线对。

7.3.6 有机物分辨

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果可以将聚甲基丙烯酸甲酯阶梯样本的相邻阶梯区分开，并能赋予不同饱和度的橙色，则可认为设备能分辨。

7.3.7 混合物分辨

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果可以将合金铝阶梯样本的相邻阶梯区分开，并能赋予不同饱和度的绿色，则可认为设备能分辨。

7.3.8 无机物分辨

将测试体 B 放置在检查区域的位置 2，启动并完成扫描，目测显示器上的测试体 B 中相应测试卡的 X 射线图像，如果可以将钢阶梯样本的相邻阶梯区分开，并能赋予不同饱和度的蓝色，则可认为设备能分辨。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录格式参见附录 C。

8.2 校准结果的处理

按本规范进行校准，出具校准证书，校准证书内页推荐格式见附录 D；校准结果应给出测量不确定度（评定示例见附录 E）。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。

注：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所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

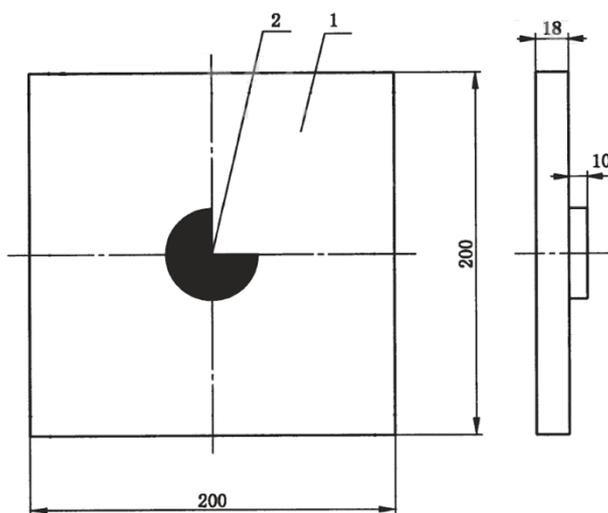
附录 A

测试体

测试体包括测试体 A 和测试体 B。测试体 A 为穿透力测试体,用于测试设备的穿透力;测试体 B 为综合测试体,用于测试设备的线分辨力、穿透分辨力、空间分辨力、有机物分辨、混合物分辨和无机物分辨。

A.1 测试体 A (穿透力测试体)

测试体 A 由不同厚度的测试钢板叠加上标记板组成,这些钢板可以组合成 18mm~88mm 的厚度。标记板是在厚度为 18mm 的钢板表面中心粘有一块厚度为 10mm、直径为 50mm 的四分之三圆铅块,见图 A.1。测试钢板材质及厚度要求见表 A.1。



1----钢板 2----四分之三圆铅块

图 A.1 测试体 A 标记板

表 A.1 穿透力测试钢板规格和数量表

类型	尺寸	数量	材质
钢板 1	200×200×30	1	45 号碳钢
钢板 2	200×200×10	2	45 号碳钢
钢板 3	200×200×5	2	45 号碳钢
钢板 4	200×200×2	5	45 号碳钢

A.2 测试体 B（综合测试体）

测试体 B 包括 6 种测试卡：线分辨测试卡（TEST1）、穿透分辨测试卡（TEST2）、空间分辨测试卡（TEST3）、有机物分辨测试卡（TEST4）、混合物分辨测试卡（TEST5）和无机物分辨测试卡（TEST6）组成。测试体 B 的结构见图 A.2。

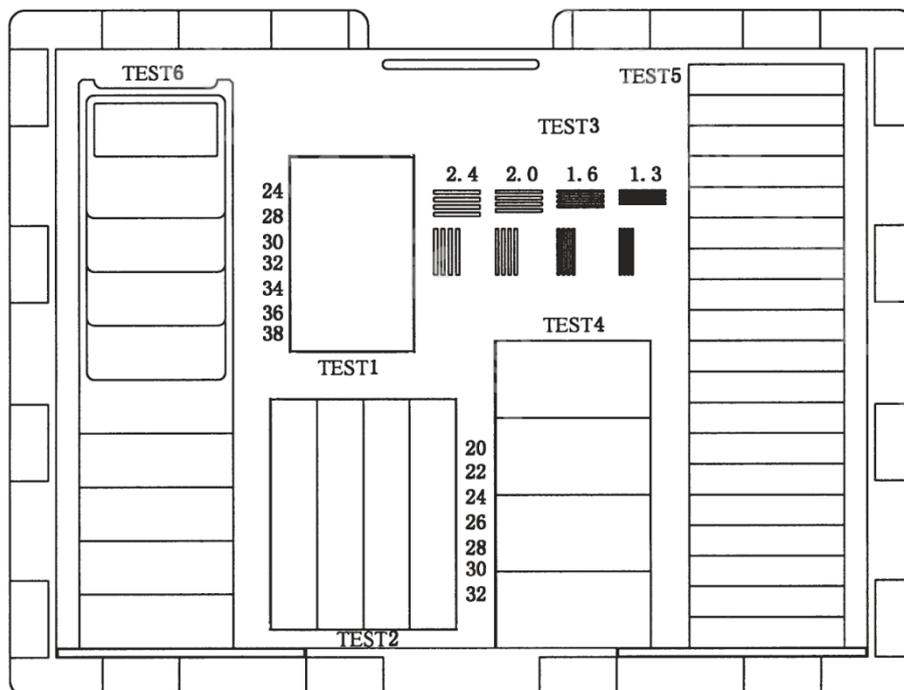
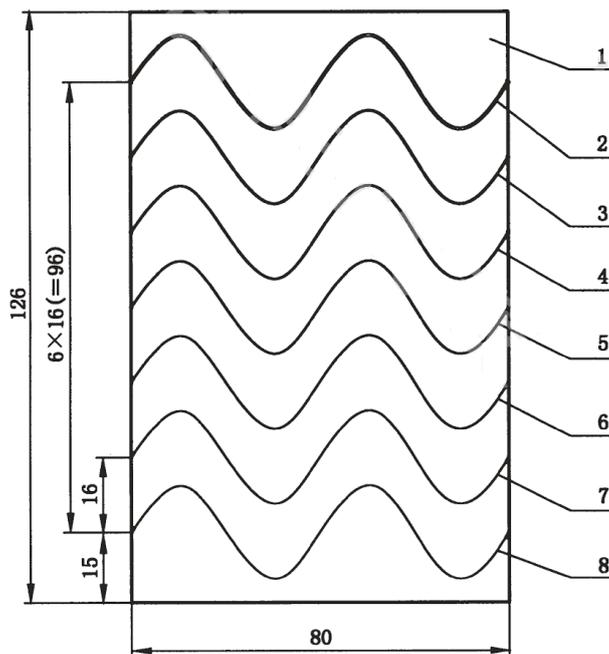


图 A.2 测试体 B 内部结构

A.2.1 测试卡 1（TEST1）

测试卡 1 为线分辨力测试卡，用于测试设备的线分辨力。

测试卡 1 由一组正弦曲线单根实芯铜线组成，这些铜线用两层厚度为 0.1mm 的聚脂薄膜板夹紧固定，详见图 A.3。单根实芯铜线的线径和编号对应关系见表 A.2。



1----聚脂薄膜板 2~8----不同线径的单根实芯铜线（线长 120mm）

图 A.3 测试卡 1

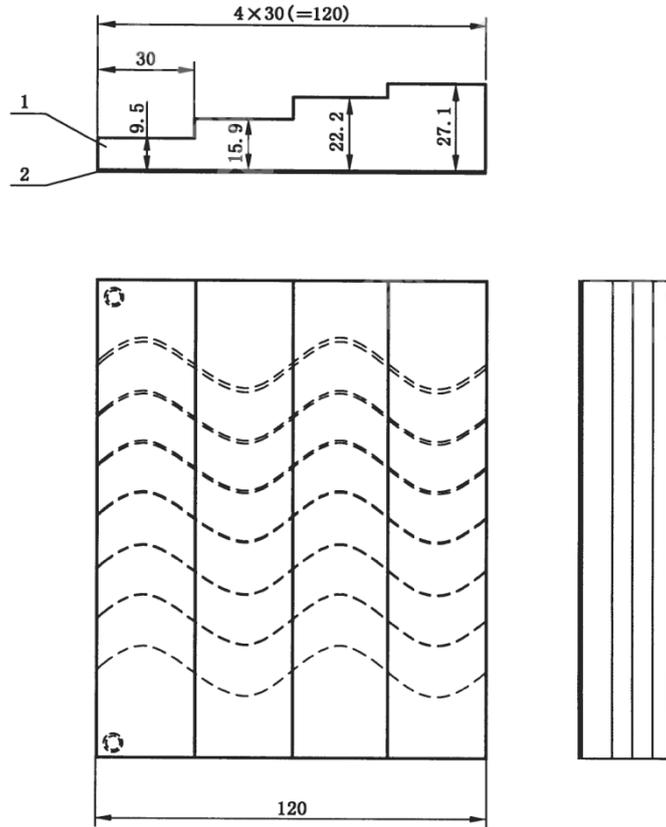
表 A.2 测试卡 1 编号和直径对应关系表

编号	直径/mm
24	$\Phi 0.511$
28	$\Phi 0.321$
30	$\Phi 0.254$
32	$\Phi 0.203$
34	$\Phi 0.160$
36	$\Phi 0.127$
38	$\Phi 0.102$

A.2.2 测试卡 2 (TEST2)

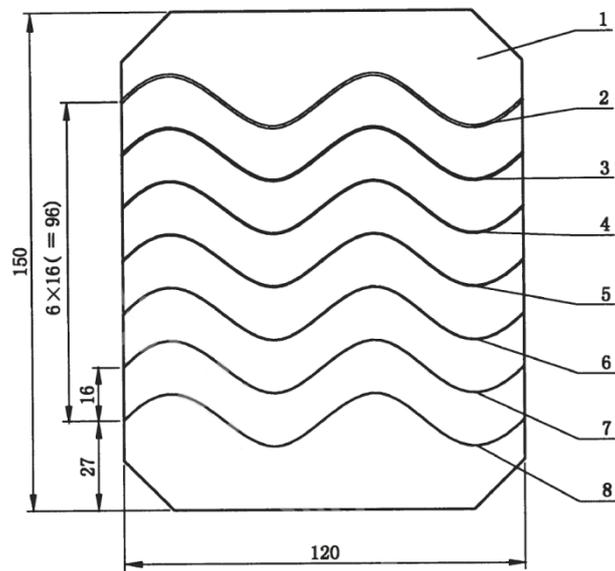
测试卡 2 位穿透分辨力测试卡，用于测试设备的穿透分辨力。

测试卡 2 由合金铝阶梯（5A02）、一组正弦曲线形单根实芯铜线和铅字组成。这些铜线用两层厚度为 0.1mm 的聚脂薄膜板夹紧固定，铝阶梯在测试卡的最上层，与聚脂薄膜板固定在一起，详见图 A.4。单根实芯铜线的线径和编号对应关系见表 A.3。



1----合金铝阶梯 2----粘有不同直径单根实芯铜线的聚脂薄膜版

图 A.3 测试卡 2



1----聚脂薄膜板 2~8----不同线径的单根实芯铜线（线长 145mm）

图 A.4 测试卡 2 线组

表 A.3 测试卡 2 编号和直径对应关系表

编号	直径/mm
20	$\Phi 0.812$
22	$\Phi 0.643$
24	$\Phi 0.511$
26	$\Phi 0.404$
28	$\Phi 0.321$
30	$\Phi 0.254$
32	$\Phi 0.203$

A.2.3 测试卡 3 (TEST3)

测试卡 3 为空间分辨力测试卡，用于测试设备分辨线对的能力。

测试卡由直接安装在测试体 B 测试卡固定板上的 4 种不同直径规格的单根实芯铜线制成的 4 组线对组成，见图 A.5。

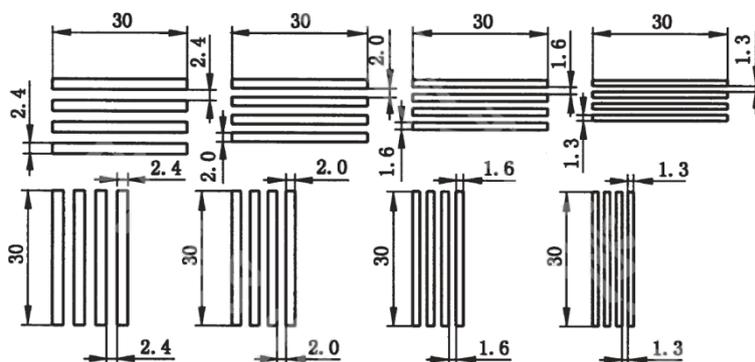


图 A.5 测试卡 3 尺寸图

A.2.4 测试卡 4 (TEST4)

测试卡 4 用于测试设备分辨有机物的能力。

测试卡 4 由 4 级不同厚度的有机玻璃阶梯组成，各阶梯的厚度分别为 40mm、80mm、120mm、160mm。测试卡 4 见图 A.6

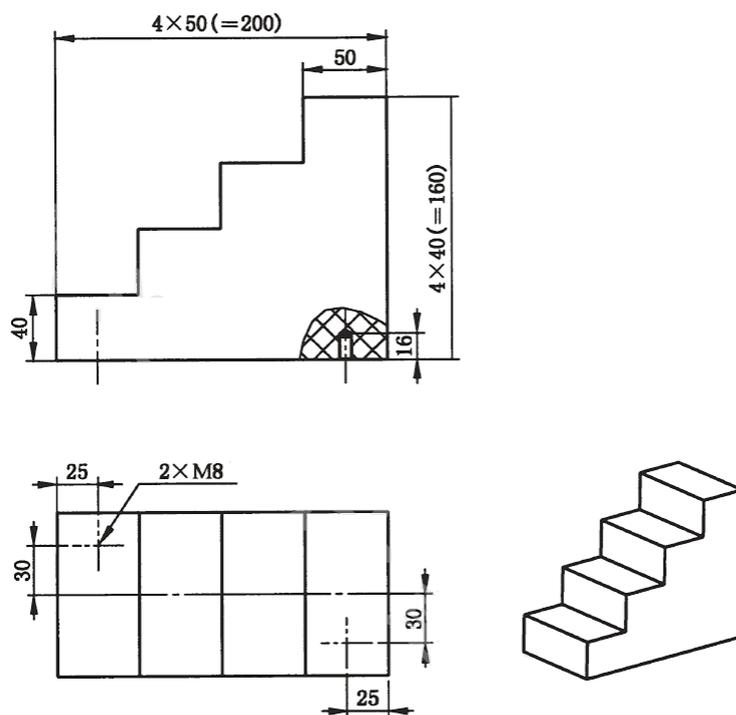


图 A.6 测试卡 4

A.2.5 测试卡 5 (TEST5)

测试卡 5 为混合物分辨测试卡，用于测试设备混合物分辨的能力。

测试卡 5 由薄合金铝阶梯 (5A02) 和厚合金铝阶梯 (5A02) 组成。薄合金铝阶梯的级差为 1mm，厚合金铝阶梯有 3 级总厚度分别为 20mm、40mm、60 毫米。测试卡 5 见图 A.7。

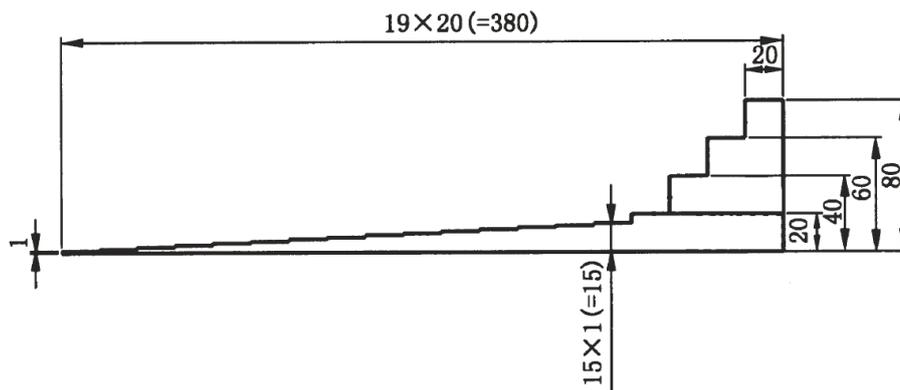


图 A.7 测试卡 5

A.2.6 测试卡 6 (TEST6)

测试卡 6 为无机物分辨测试卡，用于测试设备分辨无机物的能力。

测试卡由薄钢板阶梯 (SPCC)、厚钢板阶梯 (SPCC) 和 5mm 厚支撑板 (ABS 板) 组成。其中支撑板为稳定测试卡而用。测试卡 6 见图 A.8。

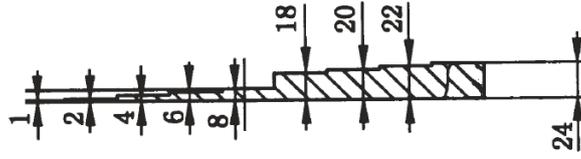


图 A.8 测试卡 6

附录 B

散射体

当测量设备的周围剂量当量率时,需要再检查通道内放置散射体来模拟被检对象的散射情况。散射体材料为软松木,软松木的密度为 $0.4\text{g}/\text{cm}^3\sim 0.6\text{g}/\text{cm}^3$, 体积为 $400\text{mm}\times 400\text{mm}\times 75\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高), MPE: $\pm 5\text{mm}$ 。

附录 C

货物运输 X 射线安全检查仪校准原始记录推荐格式样式

温度：_____℃ 气压：_____kPa 湿度：_____ %RH

检查通道入口截面最大单边尺寸		(mm)	设备分类		
X 射线产生装置数量					
X 射线产生装置 1		管电压		管电流	
X 射线产生装置 2		管电压		管电流	
序号	校准项目	校准结果			
1	泄漏辐射	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			
	$\dot{H}^*(10)_b$			$\overline{\dot{H}^*(10)_b}$	
	$\dot{H}^*(10)_t$	入口			$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_1}}$
					$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_2}}$
					$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_3}}$
	$\dot{H}^*(10)_t$	出口			$\overline{\dot{H}^*(10)_{\text{出}1}}$
					$\overline{\dot{H}^*(10)_{\text{出}2}}$
					$\overline{\dot{H}^*(10)_{\text{出}3}}$
	$\dot{H}^*(10)_t$	工作人员			$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_1}}$
					$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_2}}$
				$\overline{\dot{H}^*(10)_{\lambda_3}}$	
$\dot{H}^*(10)$	入口/出口				
	工作人员				
2	穿透力	(mm)			
3	线分辨力	(mm)			
4	空间分辨力	水平	(mm)		
		垂直	(mm)		
5	穿透分辨力	(mm)			
6	有机物分辨	(mm)			
7	混合物分辨	(阶梯)			
8	无机物分辨	(阶梯)			

校准结果不确定度：

校准因子：

校准：_____ 核验：_____

附录 D

校准证书内页推荐格式

校准结果

检查通道入口截面最大单边尺寸		(mm)	设备分类	
X 射线产生装置数量				
X 射线产生装置 1		管电压		管电流
X 射线产生装置 2		管电压		管电流
序号	校准项目	校准结果		
1	泄漏辐射周围剂量当量率	(μSv/h)		
2	穿透力	(mm)		
3	线分辨力	(mm)		
4	空间分辨力	水平	(mm)	
		垂直	(mm)	
5	穿透分辨力	(mm)		
6	有机物分辨	(阶梯)		
7	混合物分辨	(阶梯)		
8	无机物分辨	(阶梯)		

校准结果不确定度：

校准：_____ 核验：_____

附录 E

不确定度评定示例

以某型号货物安检仪泄漏辐射测量为例，对泄漏辐射（周围剂量当量率）测量结果做不确定度评定。

E.1 测量条件与测量方法

E.1.1 测量条件

E.1.1.1 环境条件

温度 5°C~40°C，相对湿度 5%~85%，大气压力 70kPa~106kPa，仪器周围无影响使用的震动和电磁场干扰。测量温度 35.0°C，相对湿度 52%，气压 99.5kPa。

E.1.1.2 测量设备

便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪， N_K 校准因子不确定度 $U_{rel} = 6.5\%$ ， $k=2$ 。

E.1.2 测量方法

测量被校设备工作环境的天然本底，将散射体置于检查区域中心位置，被校设备设置为最大辐射输出条件下工作，在距设备的任何可达表面 0.1m 处（包括行包检查的入口、出口处）和工作人员位置处用便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪进行泄漏辐射（周围剂量当量率）测量。

E.2 测量模型

E.2.1 测量模型

$$\dot{H}^*(10) = N_K \times K_{TP} \times h_K \times M \quad (E.1)$$

式中： $\dot{H}^*(10)$ ——测试点周围剂量当量率（不含本底）， $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

M —— X 射线泄漏周围剂量当量率测量平均示值（不含本底）， $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

N_K —— X 射线泄漏周围剂量当量率校准因子；

K_{TP} —— 非密闭空气电离室型探测器温度、气压密度修正。由于使用的是固体探测器，所以其值为 1；

h_K —— 空气比释动能率到周围剂量当量率的转换因子， Sv/Gy 。证书上是周围剂量当量率的校准因子，该项为 1。

E.2.2 灵敏系数

M 和 N_K 对 $\dot{H}^*(10)$ 的灵敏系数分别为：

$$c_1 = \frac{\partial \dot{H}^*(10)}{\partial M} = N_K \quad (E.2)$$

$$c_2 = \frac{\partial \dot{H}^*(10)}{\partial N_K} = M \quad (E.3)$$

E.3 输入量的标准不确定度

E.3.1 输入量 M 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(M)$

输入量 M 的标准不确定度包括仪器读数引入的标准不确定度 $u_{\text{rel1}}(M)$ 和周围剂量当量率仪定位偏差引入的标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(M)$ 。前者可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法评定，后者可以用实验得到测量值，采用 B 类方法评定。

E.3.1.1 仪器读数引入的标准不确定度 $u_{\text{rel1}}(M)$

$u_{\text{rel1}}(\bar{M})$ 由周围剂量当量率的测量列获得，以测量结果重复性和分辨率中影响较大者评定。周围剂量当量率仪在相同条件下相同位置测量周围剂量当量率的测量结果如下（单位： $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）：

0.37, 0.34, 0.29, 0.41, 0.37, 0.38, 0.35, 0.41, 0.38, 0.29

$$\text{实验标准差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} = 0.0425 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{实际三次测量平均值: } \bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i = 0.3313 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$u_{\text{rel1}}(M) = \frac{s(M)}{\bar{M}\sqrt{m}} = \frac{s}{\bar{M}\sqrt{3}} = 7.4\%$$

注：由于示值分辨力引入的不确定度分量小于测量结果重复性引入的不确定度分量，所以舍去；实际测量次数 m 为 3 次。

E.3.1.2 探测器定位偏差引入的标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(M)$

$u_{\text{rel2}}(M)$ 由实验方法得到，采用 B 类评定。根据

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{F_2^2}{F_1^2} \quad (E.4)$$

式中： M_1 ——测试点周围剂量当量率（不含本底）， $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

M_2 ——定位偏差测试点周围剂量当量率（不含本底）， $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

F_1 ——设备与测试点的距离，该项为 0.1m；

F_2 ——设备与定位偏差测试点的距离。

周围剂量当量率测量时周围剂量当量率仪的定位偏差可控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，在此范围内

读数平均值的变化不超过 2.0%，读数偏差范围即为标准不确定度区间的半宽度，设定区间内服从均匀分布，得到：

$$u_{rel2}(M) = \frac{2.0\%}{\sqrt{3}} = 1.2\%$$

E.3.1.3 仪器能响引入的标准不确定度 $u_{rel3}(M)$

该周围剂量当量率仪 X 射线 N80~N200 之间能响在±3.0%以内，设定区间内服从均匀分布，得到：

$$u_{rel3}(M) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.7\%$$

E.3.1.4 输入量M的标准不确定度 $u_{rel}(M)$

$$u_{rel}(M) = [u_{rel1}^2(M) + u_{rel2}^2(M) + u_{rel3}^2(M)]^{1/2}$$

则 $u_{rel}(M) = 7.7\%$

E.3.2 输入量 N_K 的标准不确定度 $u_{rel}(N_K)$

由周围剂量当量率仪的校准证书得到周围剂量当量率仪的校准因子的相对扩展不确定度为 6.5%， $k = 2$ ，由此得：

$$u_{rel}(N_K) = 6.5\%/2 = 3.25\%$$

E.4 合成标准不确定度

E.4.1 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial H^*(10)}{\partial M} = N_K = 0.97$$

$$c_2 = \frac{\partial H^*(10)}{\partial N_K} = M = 0.3313$$

E.4.2 标准不确定度汇总于表 E.1

表 E.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u_{rel}(x_i)$	不确定度来源	*标准不确定度值 s^{-1}	*灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u_{rel}(M)$	防护仪读数	7.7%	0.97	7.469%
$u_{rel1}(M)$	读数重复性	7.4%	/	/
$u_{rel2}(M)$	探测器定位偏差	1.2%	/	/
$u_{rel3}(M)$	能量响应	1.7%	/	/
$u_{rel}(N_K)$	校准因子	3.25%	0.3313	1.077%
$u_{rel1}(N_K)$	校准因子的不确定度	3.25%	/	/

E.4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 M 和 N_K 彼此不相关或相关性很弱，按方和根合成，合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}u_{\text{rel}} &= \sqrt{c_1^2 u_{\text{rel}}^2(M) + c_2^2 u_{\text{rel}}^2(N_K)} \\ &= 7.546\%\end{aligned}$$

E.5 扩展不确定度

取扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = 15.092\% = 15\%$$

E.6 测量结果

货物安检仪泄漏辐射的周围剂量当量率测量结果及其扩展不确定度为：

$$\dot{H}^*(10) = 0.32 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}, U_{\text{rel}} = 15\% (k=2)$$