

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

便携式背散射 X 射线安全检查
设备校准规范

Calibration Specification For Portable Backscatter X-Ray Security
Inspection Equipment

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

便携式背散射 X 射线安 全检查设备校准规范

JJF XXXX-XXXX

Calibration Specification For Portable
Backscatter 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：江苏省计量科学研究院

北京市计量科学研究院

中国测试技术研究院

参加起草单位：同方威视技术股份有限公司

上海市计量测试技术研究院

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：

王 鹏（江苏省计量科学研究院）

罗 琛（北京市计量科学研究院）

蒋 伟（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：

唐 乐（同方威视技术股份有限公司）

韩 刚（上海市计量测试技术研究院）

殷格漫（江苏省计量科学研究院）

目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 计量单位.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 辐射输出的重复性.....	(2)
5.2 X射线管电压的相对偏差.....	(2)
5.3 空间分辨力.....	(2)
5.4 线分辨力.....	(2)
5.5 穿透力.....	(2)
5.6 操作位置的散射辐射水平.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
7 校准项目与校准方法.....	(3)
7.1 辐射输出的重复性.....	(3)
7.2 X射线管电压的相对偏差.....	(4)
7.3 空间分辨力.....	(4)
7.4 线分辨力.....	(5)
7.5 穿透力.....	(5)
7.6 操作位置的散射辐射水平.....	(6)
8 校准结果的表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 测试模体结构图.....	(8)
附录 B 散射体.....	(17)
附录 C 校准记录推荐格式.....	(18)
附录 D 校准证书内页推荐格式.....	(19)
附录 E 泄漏辐射测量结果不确定度评定示例.....	(20)

引言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、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》共同构成支撑本校准规范编制工作的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

便携式背散射 X 射线安全检查设备校准规范

1 范围

本规范适用于便携式背散射 X 射线安全检查设备（以下简称“安检仪”）的校准，不适用于固定式背散射检查设备、便携式透射 X 射线安全检查设备的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1035 电离辐射计量术语及定义

GB 12664-2003 便携式 X 射线安全检查设备通用规范

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

GBZ 177-2006 便携式 X 射线检查系统放射卫生防护标准

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

JJF 1001、JJF 1035、GB / T 37128 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 术语

3.1.1 背散射 X 射线 backscatter X-ray

相对于入射 X 射线大于 90° 的散射 X 射线。

3.1.2 便携式 X 射线安全检查设备 portable X-ray security inspection equipment

一种利用 X 射线进行现场安全检查的装置，其结构整体或组成部分一般可由工作人员直接携带。

3.1.3 穿透力 backscatter simple penetration

设备分辨一定厚度钢板后面有机物品的能力。

3.1.4 空间分辨力 backscatter spatial resolution

设备分辨空气背景下聚乙烯线对的能力。

3.1.5 线分辨力 backscatter wire display

设备分辨空气背景下单根聚乙烯棒的能力。

3.1.6 散射辐射 scattered radiation

在通过物质的过程中方向受到改变的辐射。

3.2 计量单位

散射辐射的单位：戈[瑞]每小时；符号：Gy/h。

4 概述

便携式背散射 X 射线安全检查设备主要由便携式 X 光机、探测器、计算机控制系统和显示终端组成。工作原理是使用低能 X 射线照射被检物体大致所在区域，与 X 光机处于被检物品同一侧的探测器收集散射折返的 X 射线，通过测量 X 射线强度与能谱分布，生成被检物体的图像及软件分析信息，从而对被检物品的性状进行判别，并给出违禁品报警提示。

5 计量特性

5.1 辐射输出的重复性

设备输出的剂量率重复性 $\leq 5\%$ 。

5.2 X 射线管电压的相对偏差

设备的 X 射线管电压指示值与实测值的最大相对偏差 $\leq 15\%$ 。

5.3 空间分辨力

能分辨的聚乙烯线对宽 $\leq 3\text{mm}$ 。

5.4 线分辨力

能分辨的实芯铜线线径 $\leq 2\text{mm}$ 。

5.5 穿透力

至少可以分辨厚度为 2mm 钢板后面测试体的方向和形状。

5.6 操作位置的散射辐射水平

安检仪操作位置的散射辐射不应超过 $200\mu\text{Gy/h}$ 。

注：以上计量特性指标不适用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（15~30）℃；

6.1.2 相对湿度：（25~75）%；

6.1.3 大气压力：（86~106）kPa；

6.1.4 仪器周围无影响使用的电离辐射源或电磁场干扰；

6.1.5 周围环境剂量当量率不超过 0.25 μSv/h（高本底地区除外）；

6.2 校准用标准器及配套设备

6.2.1 剂量计

电离室或半导体型的剂量计，其校准因子扩展不确定度不大于 5.0%（ $k=2$ ），其它技术指标应符合下列要求：

- a) 在 X 射线管电压（50~150）kV 范围内，能量响应变化不超过 ±5.0%；
- b) 重复性应不大于 1.0%；
- c) 年稳定性不超过 ±2%。

6.2.2 非介入式管电压表

测量范围（60~200）kV，相对固有误差不超过 ±2%。

6.2.2 性能测试模体

性能测试模体见附录 A。

6.2.3 防护水平 X 辐射测量仪

相对固有误差不超过 -15% ~ +22%。

6.2.4 散射体

散射体见附录 B。

7 校准项目与校准方法

7.1 辐射输出的重复性

7.1.1 对可以设置输出管电压的安检仪，将管电压设置为 130kV；对不能设置输出管电压的安检仪，使用日常工作条件的管电压值。

7.1.2 对可以设置输出管电流的安检仪，将管电流设置为 60μA；对不能设置输出管电流的安检仪，使用日常工作条件的管电流值。

7.1.3 将标准剂量计的电离室紧贴安检仪出束端面的几何中心,通过多次曝光并调整电离室的位置,使电离室位于 X 射线管的焦点处。

7.1.4 待标准剂量计显示的空气比释动能率数值稳定后进行记录,安检仪重复曝光不少于 5 次(每次曝光间隔>10s),使用贝塞尔公式计算辐射输出的重复性。

7.2 X 射线管电压的相对偏差

7.2.1 参考 7.1.1 设置安检仪的管电压。

7.2.2 参考 7.1.3 调整非介入式管电压表的探测器位置;

7.2.3 启动安检仪进行连续曝光,非介入式电压表显示的电压数值稳定后记录;

7.2.4 对可以设置输出管电压的安检仪,将管电压调整为 120kV、140kV,重复第 7.2.3 项的操作。

7.2.5 使用式(1)计算得到示值误差 E_V 。

$$E_V = \frac{V_i - V_0}{V_0} \times 100\% \quad \text{式(1)}$$

式中:

V_0 ——非介入式管电压表测得值,单位 kV;

V_i ——安检仪的管电压指示值,单位 kV。

7.3 空间分辨力

7.3.1 参考 7.1.1~7.1.2 设置安检仪的管电压、管电流。

7.3.2 将空间分辨力测试体(见图 1,模体详情见附录 A.1)平稳固定住,安检仪的扫描窗口与测试体呈平行位置。

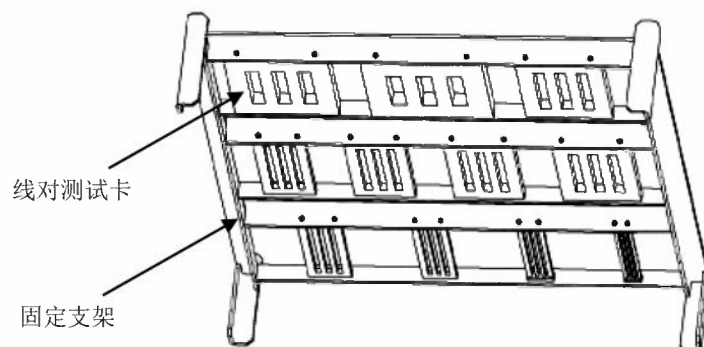


图 1 空间分辨力测试体外观立体示意图

7.3.3 启动安检仪,观察显示器上的图像,用合适的速度对测试体进行平稳扫描,目测显示器上图像能完整分辨的最小线对数;

7.3.4 将测试体旋转 90° ，重复 7.3.2~7.3.3 进行校准。

7.4 线分辨力

7.4.1 参考 7.1.1~7.1.2 设置安检仪的管电压、管电流。

7.4.2 将线分辨力测试体（见图 2，模体详情见附录 A.2）平稳固定住，安检仪的扫描窗口与测试体呈平行位置。

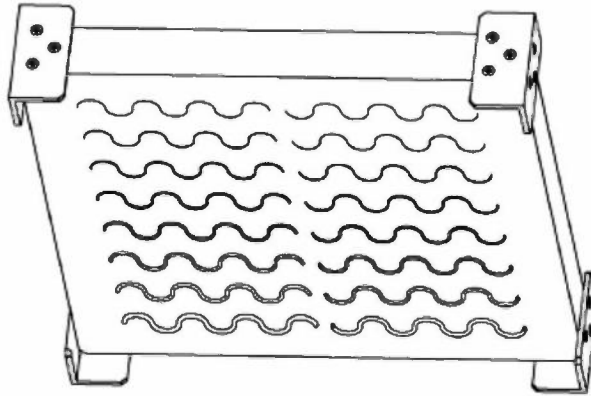


图 2 线分辨力测试体外观立体示意图

7.4.3 启动安检仪，观察显示器上的图像，用合适的速度对测试体进行平稳扫描，目测显示器上图像能完整分辨的测试线；

7.4.4 将测试体旋转 90° ，重复 7.4.2~7.4.3 进行校准。

7.5 穿透力。

7.5.1 参考 7.1.1~7.1.2 设置安检仪的管电压、管电流。

7.5.2 穿透力测试体（见图 3，模体详情见附录 A.3）和安检仪的摆放的前、后位置如图 4 所示。

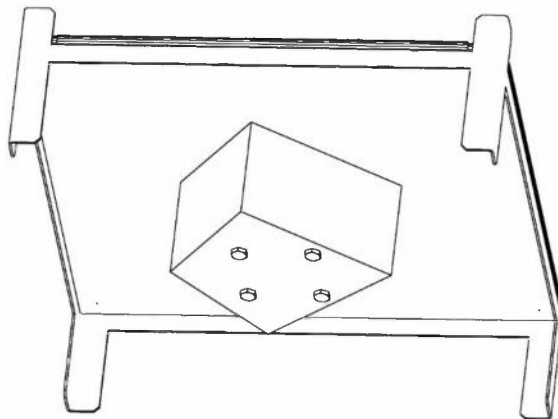


图 3 穿透力测试体外形立体示意图

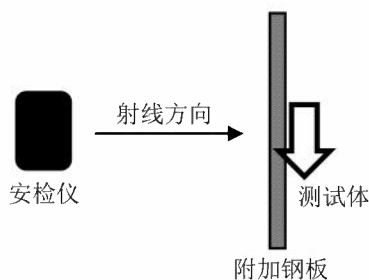


图4 穿透力测试位置示意图

7.5.3 测试卡的箭头可朝任意方向。

7.5.4 启动安检仪，目测显示器上测试体的X射线图像，观察是否能正确分辨聚乙烯测试卡箭头的形状和位置。

7.5.5 改变附加测试钢板的厚度，重复步骤7.5.4。

7.5.5 记录测试钢板总厚度(测试卡固定钢板的厚度加上附加测试钢板的厚度)。

7.6 操作位置的散射辐射水平

7.6.1 在空旷场地进行本项目的校准，安检仪距离最近的墙体应 $>2\text{m}$ ；

7.6.2 将散射体（见附录B）紧贴X射线出束窗口（见图2.a），出束窗口前的散射体厚度为300mm（可通过拼接散射体获得），贴住窗口一侧的散射体面积应不小于射线出束口面积。

7.6.3 将安检仪的输出管电压和管电流设置为最大值的90%。

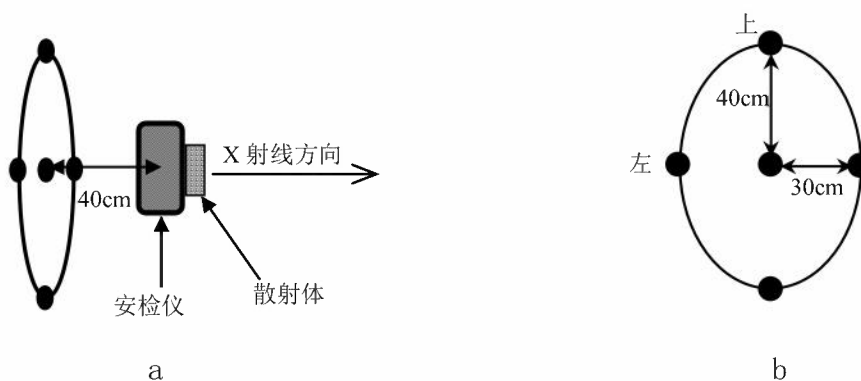


图5 操作位置的散射辐射水平测量位置示意图（a.侧视图 b.背视图）

7.6.4 在5个测量点检测操作位置的散射辐射(见图2.b)，距离安检仪中心40cm处设置第1个测量点，在距离第1个测量点的正上、正下40cm处设置2个测量点，距离第1个测量点的正左、正右30cm处设置2个测量点，记录各点的散射辐射剂量率。

8 校准结果表达与处理

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。

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

测试模体结构图

测试模体包括三个测试体：空间分辨力测试体、线分辨力测试体、穿透力测试体。每个模体的结构示意图如下：

A.1 空间分辨力测试体

空间分辨力测试体由 11 个不同规格、聚乙烯板制成的线对测试卡及固定支架组成。空间分辨力测试体外形见图 A.1~图 A.2；整体尺寸见图 A.2~图 A.3；固定支架尺寸见图 A.4；线对测试卡尺寸见图 A.5；线对测试卡尺寸规格见表 A.1。

线对测试卡由聚乙烯板制成，密度为 $(0.95 \pm 0.05) \text{ g/cm}^3$ ，测试卡固定支架材料为铝。测试体外观参考图 A.1。

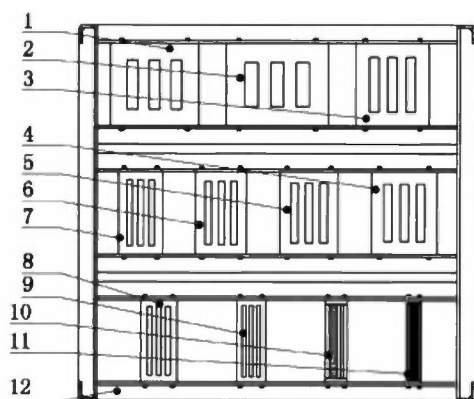


图 A.1 外观主视示意图

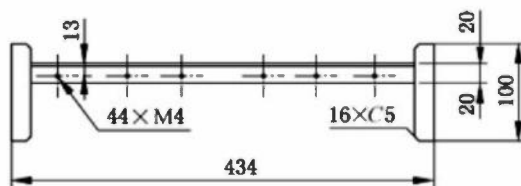


图 A.2 外观侧视示意图（含尺寸）

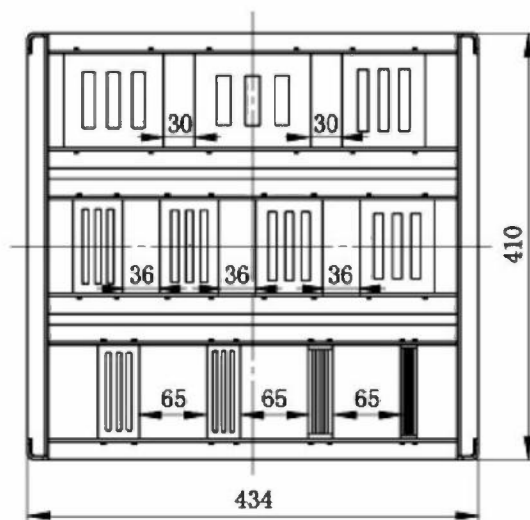


图 A.3 空间分辨力测试体整体尺寸示意图

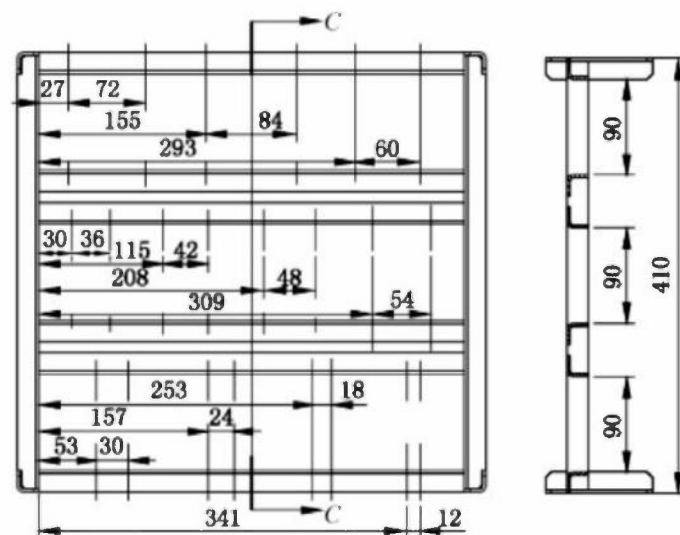


图 A.4 空间分辨力测试体固定支架尺寸示意图

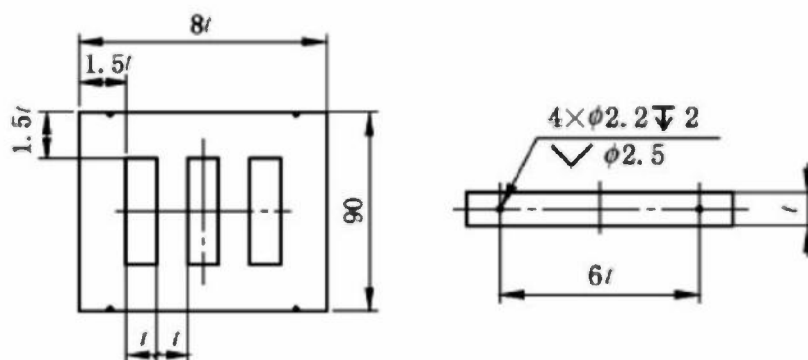


图 A.5 空间分辨力测试体线对测试卡尺寸示意图

表 A.1 线对测试卡尺寸规格

线对测试卡编号 (见图 A.2)	线宽 / t (mm)
1	10
2	9
3	8
4	7
5	6
6	5
7	4
8	3
9	2
10	1
11	0.5

A.2 线分辨力测试体 (Test2)

线分辨力测试体由 16 根实芯铜线和 50mm 厚的聚乙烯背板(含固定支脚和连接件)组成,铜线固定在背板上。背散射线探测力测试体外形见图 A.6; 整体尺寸见图 A.7; 聚乙烯背板尺寸见图 A.8; 固定支脚及连接件尺寸见图 A.9; 测试铜线尺寸见图 A.10; 实芯测试铜线的尺寸规格见表 A.2。

背板由聚乙烯材料制成,密度为 $(0.95 \pm 0.05) \text{ g/cm}^3$ 。

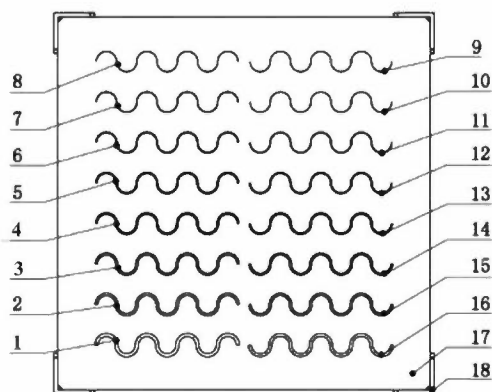


图 A.6 线分辨力测试体外观主视示意图

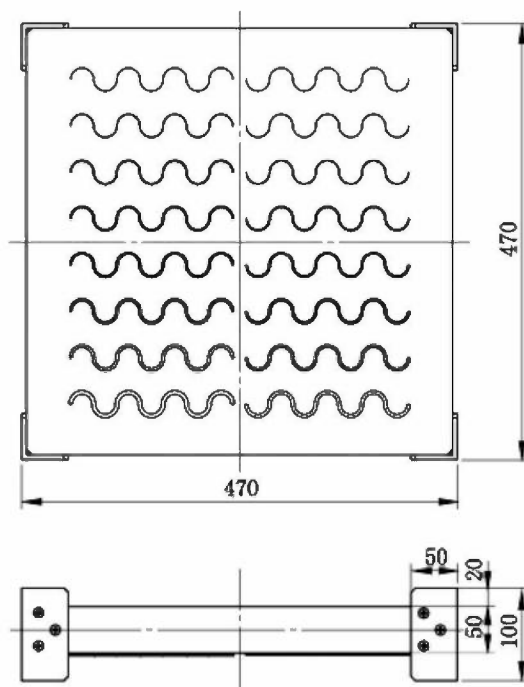


图 A.7 线分辨力测试体整体尺寸示意图

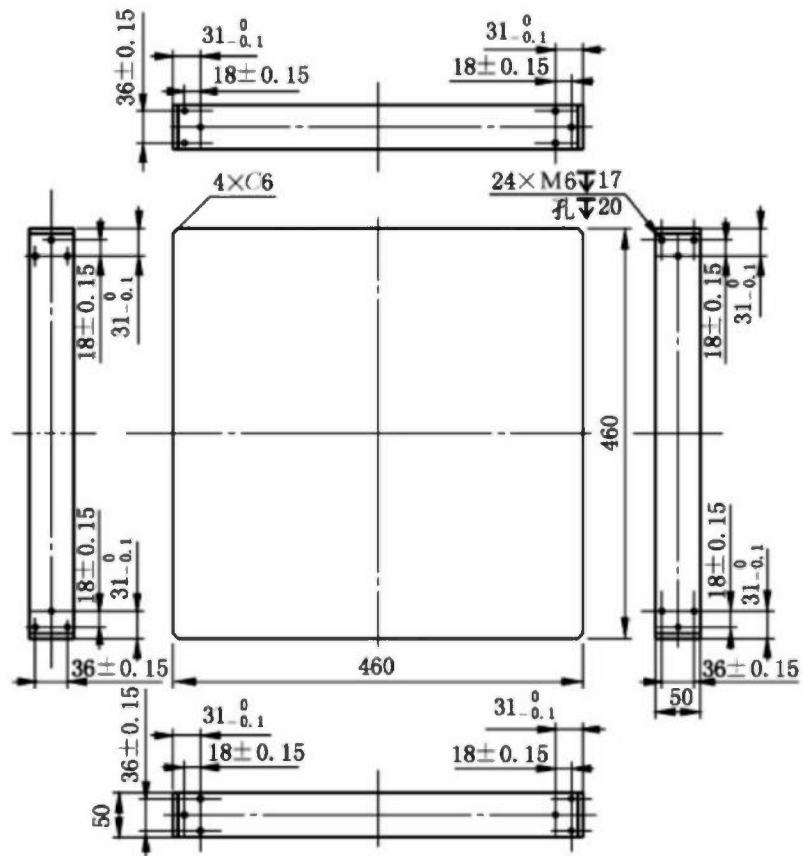


图 A.8 聚乙烯背板尺寸示意图

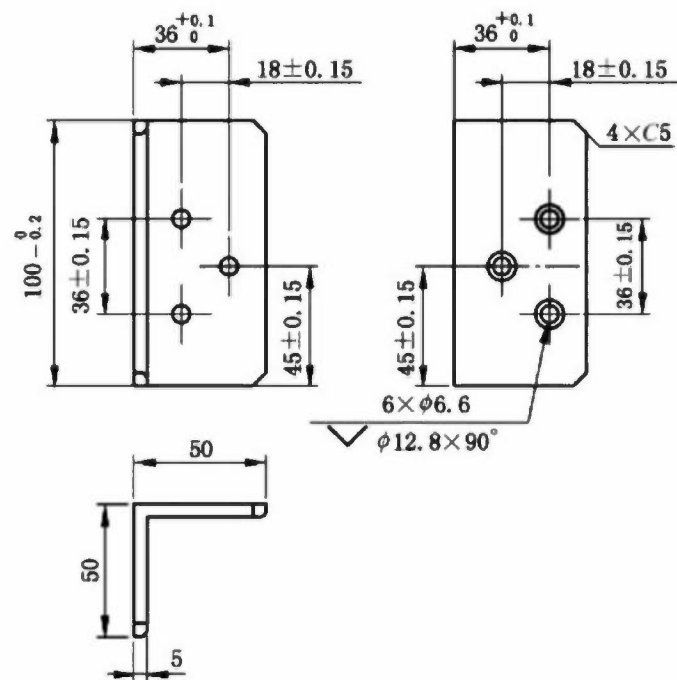


图 A.9 固定支脚和连接件尺寸示意图

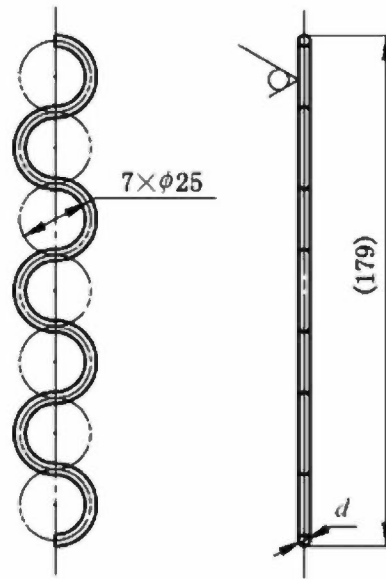


图 A.10 测试铜线尺寸示意图

表 A.2 实芯测试铜线的尺寸规格表

测试铜线的编号 (见图 A.8)	线径 (mm)
1	$\phi 4.00$
2	$\phi 3.00$
3	$\phi 2.50$
4	$\phi 2.00$
5	$\phi 1.50$
6	$\phi 1.00$
7	$\phi 0.51$
8	$\phi 0.16$
9	$\phi 0.10$
10	$\phi 0.25$
11	$\phi 0.70$
12	$\phi 1.20$
13	$\phi 1.70$
14	$\phi 2.30$
15	$\phi 2.70$
16	$\phi 3.50$

A.3 穿透力测试体

穿透力测试体由箭头形聚乙烯测试卡、测试卡固定钢板(含支架)、一组不同厚度的附加测试钢板及连接件组成。100mm 厚的聚乙烯测试卡在测试卡固定钢板的中心位置。测试卡固定钢板的厚度为 2.0mm。穿透力测试体外形见图 A.11~图 A.12；整体尺寸见图 A.13；固定钢板及支架尺寸见图 A.14；箭头形聚乙烯测试卡尺寸见图 A.15；测试体附加钢板尺寸见图 A.16；附加测试钢板厚度规格见表 A.3。

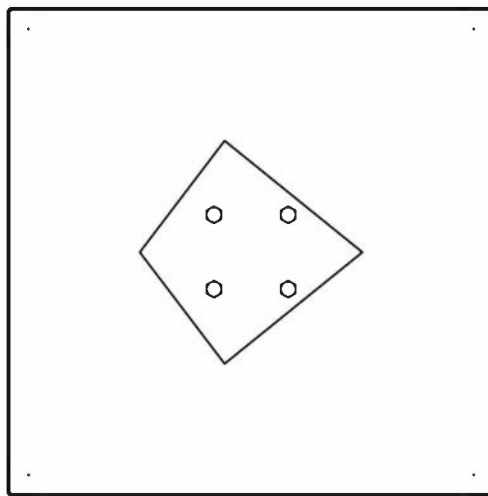
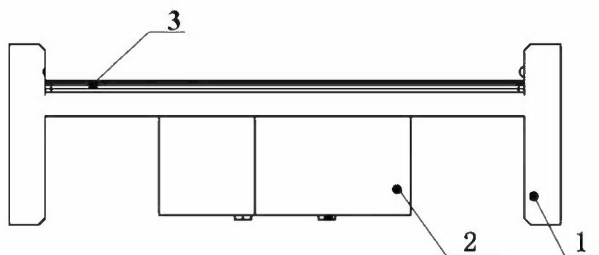


图 A.11 穿透力测试体外形主视示意图



备注：

- 1 —— 2mm 厚测试卡固定钢板及支架，材料为 45 号碳钢钢板；
- 2 —— 聚乙烯箭头形测试卡，由 100mm 厚的聚乙烯板制成，密度为 $(0.95 \pm 0.05) \text{g/cm}^3$ ；
- 3 —— 附加测试钢板，均为 45 号碳钢钢板。

图 A.12 穿透力测试体外形侧视示意图

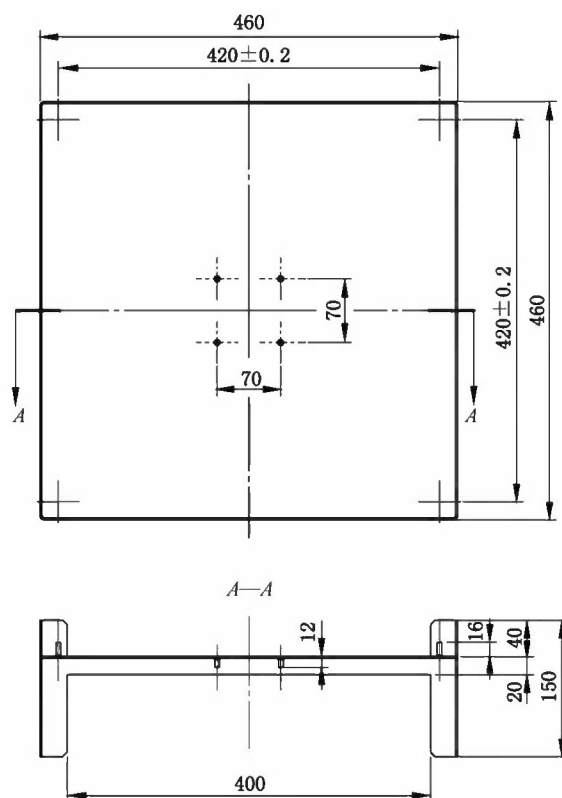


图 A.13 穿透力测试体整体尺寸示意

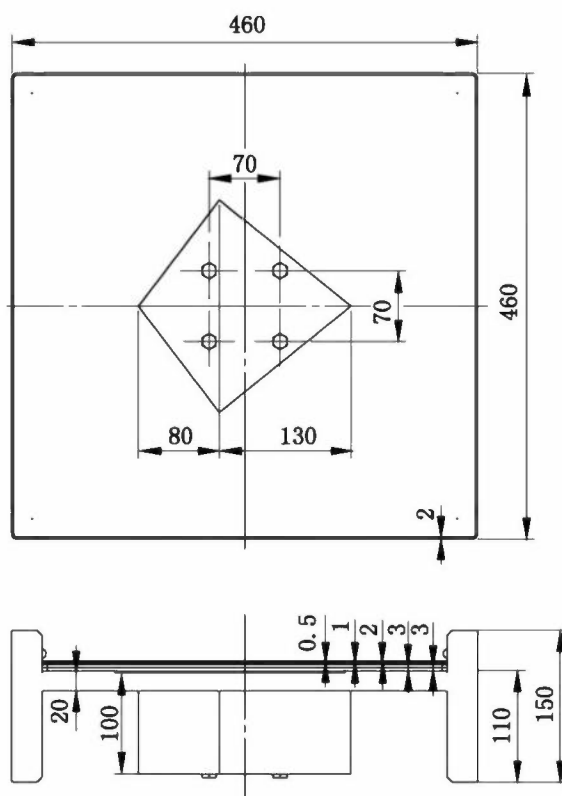


图 A.14 穿透力测试体固定钢板及支架尺寸示意图

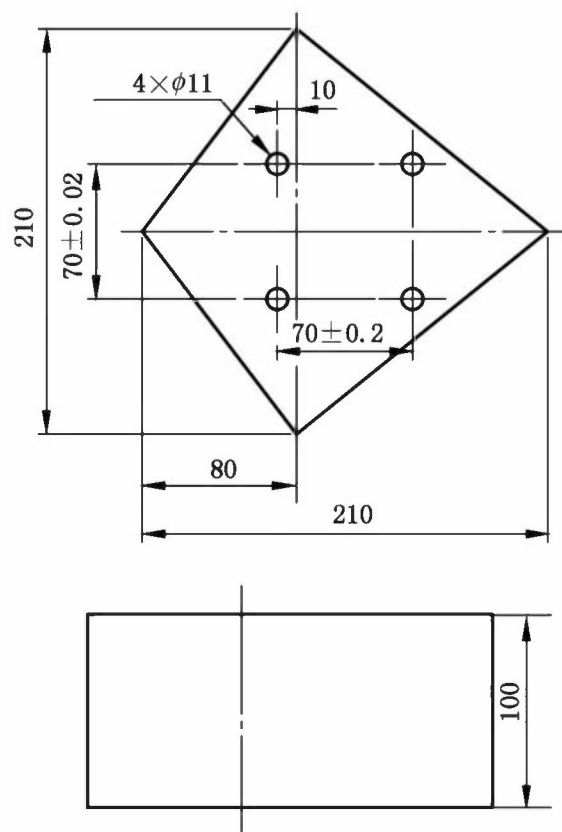


图 A.15 穿透力测试体箭头形聚乙烯测试卡尺寸示意图

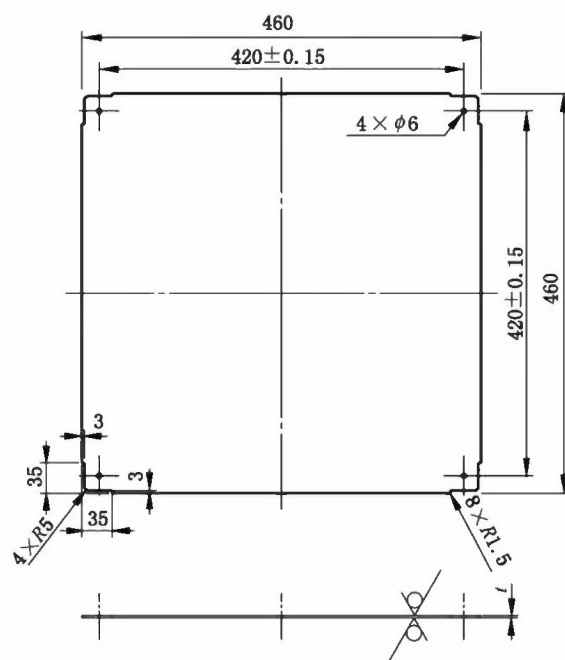


图 A.16 穿透力测试体附加钢板尺寸示意图

表 A.3 附加测试的钢板厚度规格

附加测试钢板厚度	数量
3	2
2	1
1	1
0.5	1

附录 B

散射体

散射体用于模拟物体对 X 射线的散射作用。根据 X 射线源性能的不同和检测对象的不同，散射体采用的材料和大小也有很大的差异。

本规范使用的散射体为：

材料——质地均匀的松木板；

加工——表面光洁，无毛茬或木疖子，木材拼接是不得用金属材料；

外形尺寸——体积为 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 75\text{mm}$ ，误差不超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

附录 C

便携式背散射 X 射线安全检查设备校准记录推荐格式

辐射输出重复性	测量条件：曝光参数 _____ kV _____ mA					
	测量值 (单位)					
	重复性					
X 射线管电压的相对偏差	指示值： _____ kV		测量值： _____ kV		相对偏差：	
	指示值： _____ kV		测量值： _____ kV			
	指示值： _____ kV		测量值： _____ kV			
空间分辨力	测量条件：		能分辨宽度为 _____ mm 的聚乙烯线对。			
线分辨力	测量条件：		能分辨线径为 _____ mm 的铜线。			
穿透力	测量条件：		能分辨厚度为 _____ mm 钢板后面测试体的方向和形状。			
操作位置的散射辐射水平	测量条件	散射辐射				

校准员 _____

核验员

附录 D

校准证书内页推荐格式

校准证书内页内容包括如下：

被校设备型号：	制造厂：	出厂编号：
扫描条件： ☐ 手动 kV mA ☐ 自动		
校准结果：		
1、辐射输出的重复性 重复性：		
2、X 射线管电压的相对偏差 最大相对偏差为：		
3、空间分辨力 设备能分辨宽度为_____mm 的聚乙烯线对线。		
4、线分辨力 设备能分辨直径为_____mm 的铜线。		
5、穿透力 设备能穿透厚度_____钢板。		
6、操作位置的散射辐射水平 操作位置上散射辐射的为_____。		

附录 E

散射辐射测量结果不确定度评定示例

以型号为 CDR1000 型的便携式背散射 X 射线安全检查仪散射辐射测量实例，对散射辐射测量结果作不确定度评定。

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 (15~35) °C，相对湿度 (30~75) %，大气压力 (86~106) kPa，仪器周围无影响使用的震动和电磁场干扰，周围环境剂量当量率不超过 0.25 μSv/h。

测量温度 24.3°C，相对湿度 66%，气压 101.2kPa。

E.1.1.2 测量设备

防护水平 X 射线剂量仪，校准因子不确定度 $U_{rel}=6.0\%$ ，包含因子 $k=2$ 。

E.1.2 测量方法

被校准设备设置常规工作条件，紧贴安检仪出束口放置散射体，距安检仪主体中心后侧 40cm 处，用防护水平 X 辐射测量仪进行 X 射线散射辐射测量。

E.2 数学模型与灵敏系数

E.2.1 数学模型

$$\dot{K} = M \times N_k \times K_{TP}$$

式中： $\dot{K}$ ——散射辐射的空气比释动能率，μGy/h；

M ——散射辐射的空气比释动能率测量示值，μGy/h；

N_k ——散射辐射的空气比释动能率校准因子；

K_{TP} ——电离室型探测器温度、气压密度修正。由于使用的不是电离室，所以其值为 1。

注：当即使是电离室型，但是其为密闭型的电离室，其温度、气压修正亦为 1。

E.2.2 灵敏系数

M 、 N_k 对 $\dot{K}$ 的灵敏系数分别为：

$$c_1 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial M} = N_k$$

$$c_2 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial N_k} = M$$

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 $u(M)$

输入量 M 的标准不确定度包括仪器测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(M)$ 和剂量仪定位偏差引入的标准不确定度 $u_2(M)$ 。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 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(M)$

$u_1(M)$ 由空气比释动能率的测量列获得, 采用 A 类方法进行评定。防护水平 X 射线剂量仪在相同条件下相同位置测量空气比释动能率的测量结果见表 E.1 (单位: $\mu\text{Gy/h}$)

表 E.1 空气比释动能率的测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	2.50	2.55	2.60	2.52	2.49	2.55	2.54	2.61	2.58	2.48

$$\text{读数平均值: } \bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i = 2.54 \mu\text{Gy/h}$$

$$\text{实验标准差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} = 0.045 \mu\text{Gy/h}$$

$$u_1(M) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.045/3.16 = 0.014 \mu\text{Gy/h}$$

E.3.1.2 探测器定位偏差引入的标准不确定度 $u_2(M)$

$u_2(M)$ 由实验方法得到, 采用 B 类评定。实验结果表明, 散射辐射测量时防护水平 X 射线剂量仪的位置偏差在 $\pm 1\text{cm}$ (或角度 10°) 时, 读数平均值的变化不超过 $\pm 0.05 \mu\text{Gy/h}$, 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:

$$u_2(M) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \mu\text{Gy/h}$$

E.3.1.3 仪器线性引入的标准不确定度 $u_3(M)$

防护水平 X 射线剂量仪的线性在 0.1% 以内, 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:

$$u_3(M) = \frac{0.001}{\sqrt{3}} \times \bar{M} = 0.0015 \mu\text{Gy/h}$$

E.3.1.4 输入量 M 的标准不确定度 $u(M)$

$$u(M) = [u_1^2(M) + u_2^2(M) + u_3^2(M)]^{1/2}$$

$$\text{则 } u(M) = 0.033 \mu\text{Gy/h}$$

E.3.2 输入量 N_k 的标准不确定度 $u(N_k)$

输入量 N_k 的标准不确定度指校准因子的不确定度。

由防护水平 X 辐射剂量测量仪的检定证书得到空气比释动能率校准因子的相对扩展不确定度为 6.0%， $k = 2$ ，由此得：

$$u(N_k) = \frac{6.0\% \times \bar{M}}{2} = 0.077 \mu\text{Gy/h}$$

E.4 合成标准不确定度

E.4.1 灵敏系数

$$\dot{K} \text{ 对 } M \text{ 的灵敏系数 } c_1 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial M} = N_k \approx 1$$

$$\dot{K} \text{ 对 } N_k \text{ 的灵敏系数 } c_2 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial N_k} = M = \bar{M} = 2.54 \mu\text{Gy/h}$$

E.4.2 标准不确定度汇总于表 E.2

表 E.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u(M)$	防护仪读数	0.033 $\mu\text{Gy/h}$	1	0.033
$u_1(M)$	读数重复性	0.014 $\mu\text{Gy/h}$	—	—
$u_2(M)$	探测器定位偏差	0.029 $\mu\text{Gy/h}$	—	—
$u_3(M)$	线性	0.0015 $\mu\text{Gy/h}$	—	—
$u(N_k)$	校准因子	0.077 $\mu\text{Gy/h}$	2.54 $\mu\text{Gy/h}$	0.196
$u(N_k)$	校准因子的不确定度	0.077 $\mu\text{Gy/h}$		

E.4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 M 、 N_k 、 K_{TP} 彼此不相关，按方和根合成，合成标准不确定度为：

$$u_c^2(K) = c_1^2 u^2(M) + c_2^2 u^2(N_k)$$

$$u_c(\dot{K}) = \sqrt{0.033^2 + 0.196^2} = 0.199 \mu\text{Gy/h}$$

E.5 扩展不确定度

取扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U = 0.398\mu\text{Gy/h}$$

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{M} \times 100\% = 15.7\%$$

E.6 测量不确定度报告与表示

便携式背散射 X 射线安全检查仪散射辐射测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = 16\% \quad (k=2)$$
