

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx-xxxx

X 射线计算机断层成像安全检
查系统校准规范

Calibration Specification for X-ray Computed Tomography Security

Inspection Systems

(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 射线计算机断层成像 安全检查系统校准规范

JJF xxxx-xxxx

Calibration Specification for X-Ray Computed

Tomography Security Inspection Systems

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

中国计量科学研究院

中国测试技术研究院

同方威视技术股份有限公司

北京市计量科学研究院

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）

张 健（中国计量科学研究院）

杨 勇（中国测试技术研究院）

张 丽（同方威视技术股份有限公司）

夏勋荣（江苏省计量科学研究院）

罗 琛（北京市计量科学研究院）

参加起草人：

蒋 伟（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)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 空间分辨力	(2)
5.2 密度分辨力	(2)
5.3 原子序数测量值差异性（不适用于单能系统）	(2)
5.4 测量值相对偏差	(2)
5.5 泄漏辐射	(2)
6 校准条件	(3)
7 校准项目与校准方法	(3)
7.1 外观及功能性检查	(3)
7.2 空间分辨力	(3)
7.3 密度分辨力.....	(3)
7.4 特征值差异性.....	(4)
7.5 测量值相对偏差.....	(4)
7.6 泄漏辐射	(5)
8 校准结果的表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 测试模体结构图.....	(7)
附录 B 校准证书内页推荐格式.....	(10)
附录 C 泄漏辐射测量结果不确定度评定示例.....	(11)

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》、GB/T 37128-2018《X射线计算机断层成像安全检查系统技术要求》共同构成支撑本校准规范编制工作的基础性系列文件。

X 射线计算机断层成像安全检查系统校准规范

1 范围

本规范适用于 X 射线计算机断层成像安全检查系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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/T 37128-2018 X 射线计算机断层成像安全检查系统技术要求

GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

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

3.1 X 射线计算机断层成像 (X-ray computed tomography)

计算机断层扫描是一种利用一系列不同角度的 X 射线透视图像通过计算机运算处理得到物体内部截面图像的成像方法。

3.2 X 射线计算机断层成像安全检查系统 (X-ray computed tomography security inspection system)

一种利用 X 射线计算机断层成像方法对行李、物品进行成像的产品，该产品通过获取物体在不同视角下的投影进行重建运算，得到被检物体的断层图像，进而识别物质的衰减系数、密度和等效原子序数等信息，并给出违禁品报警提示。

3.3 线对 (Line pair)

多个尺寸相同且平行的铝板，两板之间的距离与板厚相同，用板厚 (mm) 表示线对的规格。

3.4 空间分辨力 (Spatial resolution)

系统鉴别和区分物体微小细节特征的能力。

3.5 密度分辨力 (Density resolution)

系统能够区分密度相近物质的能力。

3.6 特征值 (Characteristic values)

测定某一物体或材料局部密度大小的量值。

3.7 特征值差异性 (Difference of characteristic values)

系统对不同尺寸的同一种物质特征值测量的差异。

3.8 测量值相对偏差 (Relative deviation of test value)

衡量系统测量稳定性的技术指标, 用指定若干种条件下的测量值及其相对差异来表示。

3.9 泄漏辐射 (Leakage beam)

穿过屏蔽体的电离辐射束。

3.10 违禁品 (Contraband)

具有爆炸性、易燃性、腐蚀性等各种危害各类公共场所安全的危险物品, 以及其他由用户认定的不应被通行的物品。

4 概述

X 射线计算机断层成像安全检查系统是一种利用 X 射线计算机断层成像方法对行李、物品进行成像的产品。X 射线计算机断层成像安全检查系统基本原理是通过获取物体在不同视角下的投影进行重建运算, 得到被检物体的断层图像, 进而识别物质的衰减系数、密度和等效原子序数等信息, 并给出违禁品报警提示。

随着科学技术的发展和设备性能的更迭, 有些新型系统还具备 X 射线安全检查仪的功能, 此类设备应参考 JJF1275 对其平板探测器的计量性能进行检测。

5 计量特性

5.1 空间分辨力

空间分辨力 ≥ 2.00 Lp/cm。

5.2 密度分辨力

应能分辨模体中 $\phi 3\text{cm}$ 圆孔的 3%。

5.3 特征值差异性 (不适用于单能系统)

系统对不同尺寸的同一种物质测量得到的特征值差异应 $\leq 15\%$ 。

5.4 测量值相对偏差

系统对分别置于系统通道底部几何中心和边缘的测试体测量所得测量值的相对偏差应满足:

- a) 无干扰物、同一尺寸条件下, 测量值的相对偏差不超过 1.5%;
- b) 有干扰物、同一尺寸条件下, 测量值的相对偏差不超过 3%;
- c) 无干扰物、不同尺寸条件下, 测量值的相对偏差不超过 3%。

5.5 泄漏辐射

在距系统主体 (不含辊道) 外表面 5cm 的任意处 (包括系统的入口、出口

处)，X射线的空气比释动能率 $\leq 5 \mu\text{Gy/h}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(25±10)℃；

6.1.2 相对湿度：(45~75)%；

6.1.3 大气压力：(86~106)kPa；

6.1.4 供电电源：(187~242)V，(50±3)Hz；

6.1.5 周围无明显影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

7 校准项目与校准方法

7.1 外观及功能性检查

7.1.1 被校设备应结构完整，无影响正常工作和妨碍图像观测的缺陷和损伤。

7.1.2 被校设备的电源开关应安装可靠，通断状态明显，控制按钮标识清晰，易于操控。

7.1.3 被校设备应具有仪器名称、生产厂家、型号、出厂编号等标识。

7.1.4 被校设备开机应能正常工作。

7.2 空间分辨力

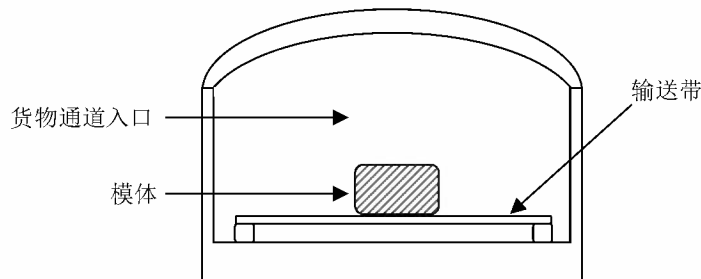


图1 模体在输送带上摆放位置的示意图

将空间分辨力测试模体置于输送带中心位置（见图1），模体X轴（见图A.1）与输送带运动方向相同，系统使用常规条件扫描模体。在扫描所得的断层图像中选择位于每个插件（见图A.1）中间位置的图像进行观察，调整系统软件的亮度、对比度，直至图像中两个方向的铝条可清晰分辨（无断点、无黏连）。

7.3 密度分辨力

将密度分辨力测试模体置于输送带中心位置（见图1），模体X轴（见图A.3）与输送带运动方向相同，系统使用常规条件扫描模体。在扫描所得的断层图像中选择模体中间位置的图像进行观察，调整系统软件的亮度、对比度并观

察 9 个氯化钠溶液圆柱体所形成的圆孔图像。

7.4 特征值差异性

将特征值差异性测试模体置于输送带中心位置（见图 1），模体 X 轴（见图 A.5）与输送带运动方向相同，系统使用常规条件扫描模体。分别统计聚乙烯棒、聚氯乙烯棒在不同直径下的特征值 Z_1 和 Z_2 ，使用公式（1）计算特征值差异 δ_z 。

$$\delta_z = \frac{2|Z_1 - Z_2|}{|Z_1 + Z_2|} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Z_1 ——与 Z_2 相同材质 $\Phi 40\text{mm}$ 断层图像的特征值；

Z_2 ——与 Z_1 相同材质 $\Phi 120\text{mm}$ 断层图像的特征值。

7.5 测量值相对偏差

7.5.1 将测量值相对偏差测试模体置于输送带中心位置（见图 1），模体 X 轴（见图 A.6）与输送带运动方向相同，系统使用常规条件扫描模体。

7.5.2 在插件 1、2、4 的中间位置选择断层图像，画一个与模体截面圆形内接的正方形区域，统计该区域内重建数值的平均数得到测量值 μ_0 、 μ_1 、 μ_3 。

7.5.3 在插件 3 的中间位置选择断层图像，画一个与模体截面圆形内接的正方形区域，再画一个与插件内部不锈钢棒外接的正方形区域，使用公式（2）计算插件 3 的测量值 μ_2 。

$$\mu = \frac{N_1 m_1 - N_2 m_2}{N_1 - N_2} \quad (2)$$

式中：

μ ——所选择区域的测量值；

N_1 ——内接正方形区域的像素点数；

m_1 ——内接正方形区域中重建数值的平均数；

N_2 ——外接正方形区域的像素点数；

m_2 ——外接正方形区域中重建数值的平均数。

7.5.4 将测量值相对偏差测试模体置于输送带上距离边缘 10 cm 的位置，重复

7.5.1 扫描模体。

7.5.5 重复 7.5.2 步骤得到 μ_4 、 μ_5 、 μ_7 ，重复 7.5.3 步骤得到 μ_6 。

7.5.6 将 $\mu_1 \sim \mu_7$ 与 μ_0 进行比较，使用公式（3）依次计算它们之间的相对差异

$$\sigma_n = \frac{|\mu_n - \mu_0|}{\mu_0} \times 100\% \quad (2)$$

σ_4 应满足 5.4 a) 的要求;

σ_2 、 σ_3 、 σ_6 、 σ_7 应满足 5.4 b) 的要求

σ_1 、 σ_5 应满足 5.4 c) 的要求。

7.6 泄漏辐射

设置在最高工作电压和相应的最大束流下工作，在检测通道内放入散射体，距系统主体外表面（包括前后及侧面）5cm 处共选择 5 个测量点，用防护水平 X 辐射测量仪进行 X 射线泄露剂量率测量。

在上述规定条件下，每个点测量十次，选取其中最大值为该 X 射线计算机断层成像安全检查系统的泄漏辐射。

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 B。

8.2 校准结果的处理

校准证书内页格式参见附录 C，校准证书应至少包括以下内容：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 进行校准的地点；
- c) 证书或报告的唯一性标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- d) 客户的名称和地址；
- e) 被校准 X 射线计算机断层成像安全检查系统的描述和明确标识（如型号、产品编号等）；
- f) 进行校准的日期或校准证书的生效日期；
- g) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- h) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述；
- j) 校准结果及测量不确定度的说明；
- k) 校准员及核验员的签名；
- l) 校准证书批准人的签名；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

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

测试模体包括四个模体：空间分辨力测试模体（Test1）、密度分辨力测试模体（Test2）、征值差异性测试模体（Test3）、测量值相对偏差测试模体（Test4），每个模体的结构如下：

A.1 空间分辨力测试模体（Test1）

Test1模体由不少于3个内嵌不同尺寸铝条的插件组成，插件的材料为聚乙烯。Test1模体的上方和下方各安装有1组插件，用来测试设备在距离输送带不同位置处的空间分辨力，Test1模体结构如图A.1、A.2所示。

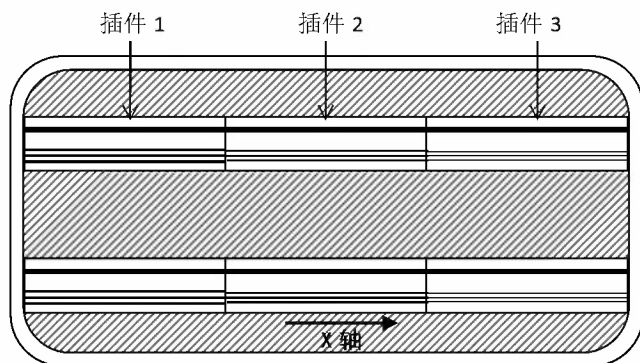


图 A.1 Test1 模体侧面示意图

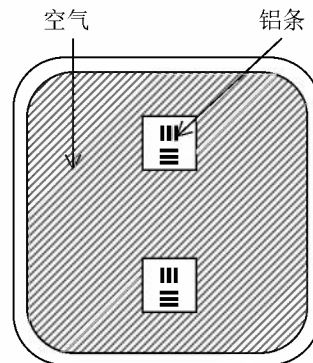


图 A.2 Test1 模体剖面示意图

表 A.1 空间分辨力测试模体内铝板厚度与其对应的空间分辨力

空间分辨力 (lp/cm)	3.33	2.50	2.00
铝板尺寸 (mm)	1.50±0.01	2.00±0.01	2.50±0.01
铝板间距 (mm)	1.50±0.01	2.00±0.01	2.50±0.01

A.2 密度分辨力测试模体（Test2）

Test2模体为聚乙烯材质的可密封水箱，使用时应注满水。模体内部嵌有9个可密封的聚乙烯材质圆柱体容器，直径分别为 $\phi 2$ cm、 $\phi 3$ cm、 $\phi 4$ cm。相

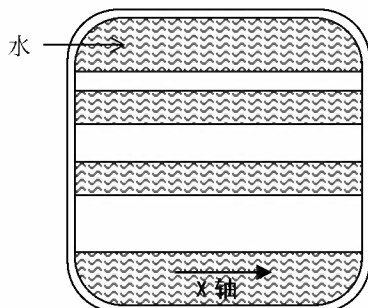


图 A.3 Test2 模体侧面示意图

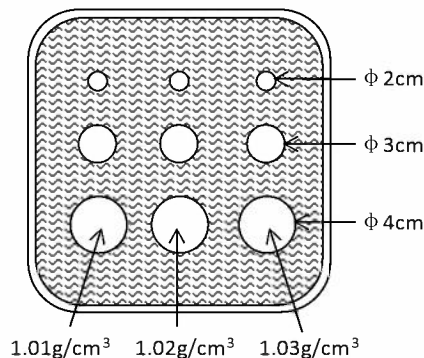


图 A.4 Test2 模体剖面示意图

同直径的 3 个圆柱体内分别注满密度为 1.01 g/cm^3 、 1.02 g/cm^3 、 1.03 g/cm^3 的氯化钠溶液，其对应的密度分辨力分别为 1%、2%、3%。Test2 模体结构如图 A.3、A.4 所示

A.3 特征值差异性测试模体 (Test3)

Test3 模体外壳为有机玻璃，内部由两种不同材质、不同尺寸的插件构成，分别是 $\phi 40 \text{ mm}$ 聚乙烯棒、 $\phi 120 \text{ mm}$ 聚乙烯棒、 $\phi 40 \text{ mm}$ 聚氯乙烯棒、 $\phi 120 \text{ mm}$ 聚氯乙烯棒，Test3 模体结构如图 A.5 所示。

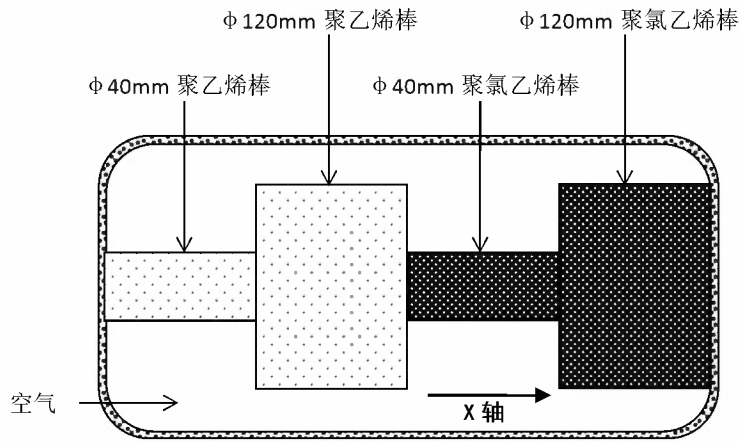


图 A.5 Test3 模体侧面示意图

A.4 测量值相对偏差测试模体 (Test4)

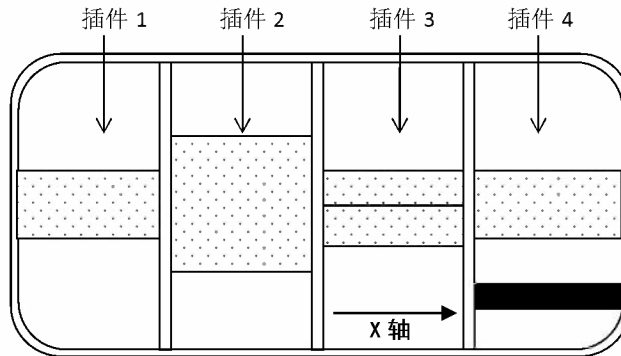
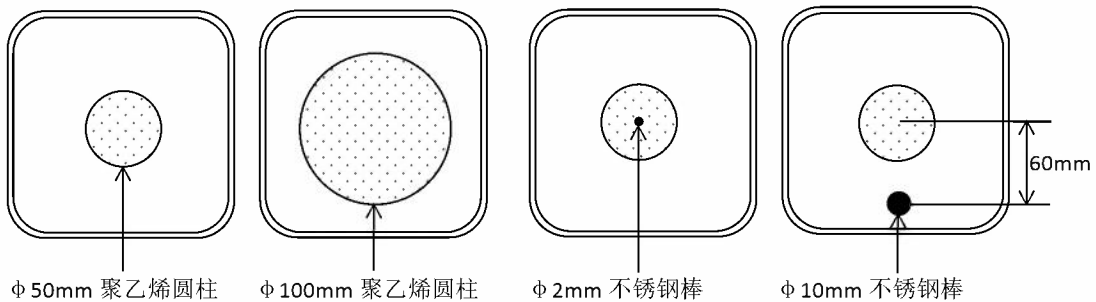


图 A.6 Test4 模体侧面示意图



A.7 插件 1 剖面示意图

A.8 插件 2 剖面示意图

A.9 插件 3 剖面示意图

A.10 插件 4 剖面示意图

Test4 模体外壳材料为有机玻璃，结构如图 A.6~A.10 所示，Test4 模体内部由四个插件组成：

插件 1 为 $\phi 50\text{mm}$ 的聚乙烯圆柱。

插件 2 为 $\phi 100\text{mm}$ 的聚乙烯圆柱。

插件 3 主体与插件 1 相同，在圆柱中心插入一根 $\phi 2\text{mm}$ 不锈钢棒。

插件 4 主体与插件 1 相同，在距圆柱中心 60 mm 处放置一根 $\phi 10\text{mm}$ 不锈钢棒。

附录 B

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：	出场编号：	
扫描条件： <input type="checkbox"/> 手动	kV	mA	<input type="checkbox"/> 手动
校准结果：			
1、空间分辨力			
分辨力为 L_p/cm			
2、密度分辨力			
可分辨模体中 ϕ cm 圆孔的 %。			
3、特征值差异性			
聚乙烯材料的差异性 $\delta_z =$			
聚氯乙烯材料的差异性 $\delta_z =$			
4、测量值相对偏差			
$\sigma_1 =$	$\sigma_2 =$	$\sigma_3 =$	$\sigma_4 =$
$\sigma_5 =$	$\sigma_6 =$	$\sigma_7 =$	
5、泄漏辐射			
在距系统主体（不含辘道）外表面 5cm 的任意处（包括系统的入口、出口处），X 射线的空气比释动能率最大为 $\mu Gy/h$			

附录 C

泄露辐射测量结果不确定度评定示例

以型号为 XT2100HS 的 X 射线计算机断层成像安全检查系统泄露辐射测量实例，对泄露辐射测量结果作不确定度评定。

1 测量条件与测量方法

1.1 测量条件

1.1.1 环境条件：

温度 25.5℃，相对湿度 62%，大气压力 101.2 kPa，周围无明显影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。。

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 $k=2$

1.2 测量方法

被校准设备设置常规工作条件，在输送带的几何中间位置放置散射体，距设备主体外表面（包括前后及侧面）5cm 处共选择 5 个测量点，用防护水平 X 辐射测量仪进行 X 射线泄露剂量率测量，测量 10 次，取其平均值作为泄露辐射空气比释动能率值。

2 数学模型与灵敏系数

2.1 数学模型

$$\dot{K} = M \times N_k \times K_{TP} \quad (1)$$

式中： \dot{K} ——泄露辐射空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

M ——泄露辐射空气比释动能率测量示值， $\mu\text{Gy/h}$ ；

N_k ——泄露辐射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。

2.2 灵敏系数

M 、 N_k 对 \dot{K} 的灵敏系数分别为：

$$c_1 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial M} = N_k \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{\partial k}{\partial N_k} = M \quad (3)$$

3 输入量的标准不确定度

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。

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如下（单位： $\mu\text{Gy/h}$ ）：

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

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

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

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

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。泄漏辐射测量时防护水平 X 射线剂量仪的定位偏差可控制在 $\pm 1\text{cm}$ （或角度 10° ）以内，实验结果表明，在此范围内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：

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

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：

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

3.1.4 输入量 M 的标准不确定度 $u(M)$

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

则 $u(M) = 0.033 \mu\text{Gy/h}$

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：

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

4 合成标准不确定度

4.1 灵敏系数

\dot{K} 对 M 的灵敏系数 $C_1 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial M} = N_k \approx 1$

\dot{K} 对 N_k 的灵敏系数 $C_2 = \frac{\partial \dot{K}}{\partial N_k} = M = \bar{M} = 2.54 \mu\text{Gy/h}$

4.2 标准不确定度汇总于表 1

表 1：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 s^{-1}	*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 $\mu\text{Gy/h}$	-	-

4.3 合成标准不确定度的计算

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

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

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

5 扩展不确定度

取扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度为

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

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

6 测量不确定度报告与表示

X 射线计算机断层成像安全检查系统泄漏辐射测量结果的扩展不确定度为：

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