

# T/CSMT

## 团 体 标 准

T/XXXXXXXX—XXXX

### 少铅/无铅辐射屏蔽材料防护性能检测技术 规范

Technical specification for testing the protective performance of lead-less / lead-free  
radiation shielding materials

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国计量测试学会 发布

## 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 测定项目与一般要求.....	2
4.1 衰减比 $F$ .....	2
4.2 累积因子 $B$ .....	2
4.3 衰减当量 $\delta$ .....	2
4.4 铅当量 $\delta_{pb}$ .....	2
4.5 非均匀性.....	2
5 检测条件.....	2
5.1 计量标准.....	2
5.2 检测用辐射质.....	3
5.3 辐射探测器.....	3
5.4 标准铅片.....	3
5.5 待测样品.....	3
6 辐射条件下的测量.....	4
6.1 窄射束条件下的测量.....	4
6.1.1 概述.....	4
6.1.2 空气比释动能率的测量.....	4
6.1.3 衰减比.....	4
6.1.4 衰减当量和铅当量.....	5
6.1.5 非均匀性.....	5
6.2 宽射束条件下的测量.....	5
6.2.1 概述.....	5
6.2.2 空气比释动能率的测量.....	5
6.2.3 衰减比.....	6
6.2.4 累积因子.....	6
6.2.5 衰减当量和铅当量.....	6
6.3 逆宽射束条件下的测量.....	6
6.3.1 概述.....	6
6.3.2 空气比释动能率的测量.....	7
6.3.3 衰减比.....	7
6.3.4 累积因子.....	7
6.3.5 衰减当量和铅当量.....	7
6.4 改进逆宽射束条件下的测量.....	7
6.4.1 概述.....	8
6.4.2 空气比释动能率的测量.....	8
6.4.3 衰减比.....	8
6.4.4 累积因子.....	9

6.4.5 衰减当量和铅当量.....	9
6.5 改进宽射束条件下的测量.....	9
6.5.1 概述.....	9
6.5.2 空气比释动能率的测量.....	9
6.5.3 衰减比.....	10
6.5.4 累积因子.....	10
6.5.5 衰减当量和铅当量.....	10
7 测量结果的说明.....	10
附录 A 衰减比、累积因子和第一半值层表格.....	12
参考文献.....	12

## 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。

本文件由中国计量科学研究院提出。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国医学科学院肿瘤医院、首都医科大学附属北京友谊医院、北京航空航天大学、中国医学科学院放射医学研究所、北京职业病防治研究院、天津工业大学、中广核研究院有限公司、英纳能（北京）特种材料科技有限公司、无锡中博天际核生化应急装备科技有限公司。

本文件主要起草人：李德红、张璇、黄建微、张晓乐、欧向明、徐寿平、苏强、张高龙、翟贺争、曹磊、赵晓明、刘元军、路广遥、陈帅、徐雨来、张婧。

# 少铅/无铅辐射屏蔽材料防护性能检测技术规范

## 1 范围

本文件适用于制造防护器具用的片状形式少铅/无铅电离辐射屏蔽材料，该类材料可对（30~150）kV管电压下的X射线提供防护。

本文件不适用于防护器具定期在使用前后的衰减性能的检查。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

YY/T 0292.1—2020 医用诊断X射线辐射防护器具 第1部分：材料衰减性能的测定

GBZ/T 147—2002 X射线防护材料衰减性能的测定

IEC 61331.1—2014 Protective devices against diagnostic medical X-radiation – Part 1: Determination of attenuation properties of materials（IEC 61331.1—2014 医用诊断X射线辐射防护器具 第1部分：材料衰减性能的测定）

ISO 4037.1—2019 Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods（ISO 4037.1—2019 辐射防护校准剂量仪和剂量率仪及确定其光子能量响应的X和 $\gamma$ 射线参考辐射 第1部分：场所剂量计和个人剂量计的校准及其能量响应和角响应的确定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

少铅辐射屏蔽材料 lead-less radiation shielding materials

少铅辐射屏蔽材料是由含铅金属单质或其氧化物、化合物和其他具有吸收、反射放射性射线的金属单质、氧化物、化合物的材料（如钨，氧化铋、硫酸钡等）与基体复合而成的材料。其中金属铅含量与防护材料总量的比例应 $\leq 5\%$ 。

### 3.2

无铅辐射屏蔽材料 lead-free radiation shielding materials

无铅辐射屏蔽材料是由具有吸收、反射放射性射线的金属单质、氧化物、化合物的材料（如钨，氧化铋、硫酸钡等）与基体复合，且其中不含铅元素，即铅金属单质或其氧化物、化合物的材料。

### 3.3

衰减比 attenuation ratio,  $F$

经辐射屏蔽材料衰减前后的空气比释动能率的比值，即经辐射屏蔽材料衰减后减弱的倍数。

### 3.4

衰减当量 attenuation equivalence,  $\delta$

在规定的辐射质和测量条件下，与参考物质具有相同屏蔽效果时被测辐射屏蔽材料所相当的参考物质的厚度。

## 3.5

铅当量 lead equivalence,  $\delta_{pb}$

用铅作为参考物质时以铅的厚度来表示的衰减当量，单位为毫米铅（mmPb）。

## 3.6

比铅当量 specific lead equivalent

每单位厚度（mm）辐射屏蔽材料的铅当量称为比铅当量，其单位是mmPb/mm材料。比铅当量是衰减性能、物理性能和使用性能的最佳组合。

## 3.7

累积因子 build-up factor,  $B$

被测物质在所规定的辐照条件下，距离探测器近时的辐射量值与距离探测器远时的辐射量值之比。当待测样品铅含量越高，累积因子越接近于1。

## 3.8

变异系数 coefficient of Variation,  $CV$

变异系数是表示数据离散程度的相对指标，是一组数据的标准差 $s$ 与其相应的平均值 $\bar{x}$ 之比。

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

## 4 测定项目与一般要求

4.1 衰减比  $F$ 

所测辐射屏蔽材料应标明衰减比，检测条件（窄射束、宽射束、逆宽射束、改进宽射束和改进逆宽射束），辐射质管电压和总过滤。

4.2 累积因子  $B$ 

所测辐射屏蔽材料应标明累积因子，检测条件（宽射线束、逆宽射线束、改进宽射线束和改进逆宽射线束），辐射质管电压和总过滤。

4.3 衰减当量  $\delta$ 

所测辐射屏蔽材料应标明在规定射束的辐射质和规定的测量条件下，与参考物质具有相同衰减程度时被测辐射屏蔽材料所相当的参考物质的厚度。

4.4 铅当量  $\delta_{pb}$ 

出厂的X射线辐射屏蔽材料应标明其标称铅当量，检测条件（宽射束、逆宽射束、改进宽射束和改进逆宽射束），并用X射线管电压和总过滤表示辐射质。

## 4.5 非均匀性

非均匀性应作为公差和衰减当量采用同一单位一起加以标记。

## 5 检测条件

## 5.1 计量标准

空气比释动能率的约定值应溯源至国家空气比释动能率基准。

几何量的约定值应溯源至测厚仪标准。

辐射野中无辐射屏蔽材料与有辐射屏蔽材料时的空气比释动能率比值的相对标准不确定度不得超过3%。

## 5.2 检测用辐射质

用于检测的辐射质见表1。X射线管电压与标称值的差异不应超过2%或2 kV，以较小者控制。连续4次重复测量管电压，其变异系数（CV）不得超过0.05。管电压纹波不超过10%。铝过滤片的纯度不低于99.9%，铝过滤的厚度与标称值的差异不应超过0.1 mm。第一半值层与规定的标称第一半值层差异应小于5%。散射辐射的贡献小于总空气比释动能率的5%。

表1 检测用标准辐射质

标称管电压/kV	标称总过滤/mmAl	标称第一半值层/mmAl	1 m处管电流10 mA下的空气比释动能率（近似值）/mGy·s <sup>-1</sup>	平均能量/keV*
30	2.5	0.99	0.1	23.6
40	2.5	1.44	0.2	28.4
50	2.5	1.81	0.3	32.5
60	2.5	2.14	0.4	36.1
70	2.5	2.44	0.5	39.7
80	2.5	2.77	0.6	43.1
90	2.5	3.10	0.8	46.2
100	2.5	3.44	0.9	49.0
110	2.5	3.79	1.0	51.6
120	2.5	4.13	1.4	54.0
130	2.5	4.48	1.2	56.2
140	2.5	4.82	1.6	58.3
150	2.5	5.17	2	60.4

\*平均能量见参考文献[2]。

## 5.3 辐射探测器

辐射探测器建议采用电离室型探测器，并在ISO 4037窄谱系列辐射质条件下进行能量响应实验，探测器的能量响应可绘制成铝的半值层函数，可从中评估实际射束中空气比释动能响应值。在铝半值层范围内，能量响应变化不得超过2.5%。

## 5.4 标准铅片

化学纯度应不低于99.9%；厚度精度为±0.01 mm；厚度的相对标准不确定度<2%；辐照区域内铅片的均匀性<2%。

## 5.5 待测样品

在窄射束、逆宽射束、改进逆宽射束测量条件下，待测样品尺寸至少为200 mm×200 mm；  
在宽射束、改进宽射束测量条件下，待测样品尺寸至少为500 mm×500 mm；  
各种厚度的待测样品可通过几层相同厚度或不同厚度的样品叠加而获得。

## 6 辐射条件下的测量

### 6.1 窄射束条件下的测量

#### 6.1.1 概述

少铅/无铅辐射屏蔽材料防护性能检测不可只局限于窄射束条件下的测量。对于给定的待测样品的衰减比 $F_N$ ，应在窄射束条件下根据图1所示的布局来测量。从待测样品到光束轴上的探测器基准点之间的距离 $a$ 应至少为探测器的直径 $d$ 或待测样品透射辐射束直径 $t$ 的10倍，二者取较大值，即 $a \geq 10\max(d, t)$ 。沿着射束方向从探测器到墙壁或地板的最小距离应为700 mm。

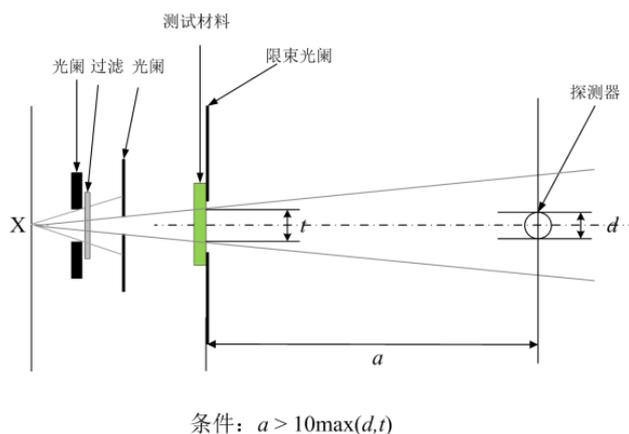


图1 窄射束测量条件示意图

#### 6.1.2 空气比释动能率的测量

空气比释动能率应采用同一辐射探测器在相同位置下对3种不同的条件分别进行测量。

$\overset{g}{K}_0$  是辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$  是辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$  是在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率，应满足  $\overset{g}{K}_1 \geq 10 \times \overset{g}{K}_B$ 。

应在同一辐射质、同一剂量率条件下对 $\overset{g}{K}_0$ 、 $\overset{g}{K}_1$ 和 $\overset{g}{K}_B$ 三者进行测量，在测量过程中，如果一次辐射束平均剂量率变化超过0.2%，应采用监督电离室监视这3种测量情况，并将3个测得值归一化为相同的一次辐射束剂量率。

#### 6.1.3 衰减比

窄射束条件下的衰减比 $F_N$ 按以下方法得到：

$$F_N = \frac{\overset{g}{K}_0 - \overset{g}{K}_B}{\overset{g}{K}_1 - \overset{g}{K}_B} \quad (1)$$

式中：

$\overset{g}{K}_0$ ——辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$ ——辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$ ——在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率。

### 6.1.4 衰减当量和铅当量

首先测量不同辐射质条件下无标准铅片或参考材料，和有标准铅片或参考材料（不同厚度，至少4种）时的剂量率，计算得到标准铅片或参考材料的衰减比（ $F_{N,s}$ ）。利用衰减比确定其变化曲线，即 $y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ，其中 $y = t_{N,s}$ 是标准铅片或参考材料的厚度， $x = \ln(F_{N,s})$ 。再在相同位置处，将待测样品替换标准铅片或参考材料，测量待测样品在相应辐照条件下的衰减比（ $F_N$ ），将 $x = \ln(F_N)$ 代入到二阶多项式中，得到待测样品的铅当量或衰减当量。注意待测样品和参考材料需分别在同一X射线设备的射线束下测定。

### 6.1.5 非均匀性

在待测样品照射区域上选取5~10个有代表的测试点或沿着代表性方向上连续选取多个点，计算相应点处的衰减当量 $\delta_{N,i}$ ，计算均匀性偏差 $V$ 。

$$\bar{\delta}_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{N,i} \quad (2)$$

$$V = \left| \bar{\delta}_N - \delta_{N,i} \right|_{\max} \quad (3)$$

式中：

$V$ ——均匀性偏差；

$\bar{\delta}_N$ ——衰减当量平均值；

$\delta_{N,i}$ ——每个代表点测得的衰减当量值。

## 6.2 宽射束条件下的测量

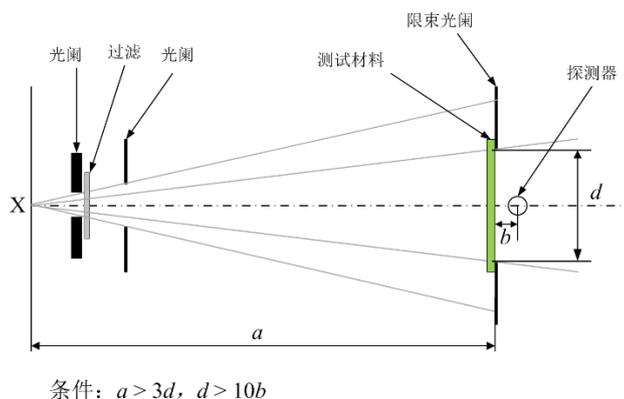


图2 宽射束测量条件示意图

### 6.2.1 概述

对于给定待测样品的衰减比 $F_B$ ，应在宽射束条件下根据图2所示的布局来测量。从焦点到待测样品出射面之间的距离 $a$ 应至少为光阑直径 $d$ 的3倍，即 $a \geq 3d$ 。光阑直径 $d$ 应至少为 $b$ 的10倍以上， $b$ 为待测样品的出射面到辐射探测器中心点之间的距离，即 $d \geq 10b$ 。为减少探测器与待测样品之间空气引起的次级辐射衰减， $b$ 应尽可能的小，探测器表面与待测样品应不超过10 mm。沿着射束方向从探测器到墙壁或地板的最小距离应为700 mm。

### 6.2.2 空气比释动能率的测量

空气比释动能率应采用同一辐射探测器在相同位置下对3种不同的条件分别进行测量。

$\overset{g}{K}_0$  是辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$  是辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$  是在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率，应满足  $\overset{g}{K}_1 \geq 10 \times \overset{g}{K}_B$ 。

应在同一辐射质、同一剂量率条件下对三者进行测量，在测量过程中，如果一次辐射束平均剂量率变化超过0.2%，应采用监督电离室监视这三种测量情况，并将3个测得值归一化为相同的一次辐射束剂量率。在限束光阑处平面内任意一点处辐射束剂量率偏差不超过2%。

### 6.2.3 衰减比

宽射束条件下的衰减比 $F_B$ 按以下方法得到：

$$F_B = \frac{\overset{g}{K}_0 - \overset{g}{K}_B}{\overset{g}{K}_1 - \overset{g}{K}_B} \quad (4)$$

式中：

$\overset{g}{K}_0$ ——辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$ ——辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$ ——在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率。

### 6.2.4 累积因子

累积因子 $B$ 应按以下方法得到：

$$B = \frac{F_N}{F_B} \quad (5)$$

式中：

$F_N$ ——窄射束条件下测得的衰减比；

$F_B$ ——宽射束条件下测得的衰减比。

### 6.2.5 衰减当量和铅当量

首先测量不同辐射质条件下无标准铅片或参考材料，和有标准铅片或参考材料（不同厚度，至少4种）时的剂量率，计算得到标准铅片或参考材料的衰减比（ $F_{B,s}$ ）。利用衰减比确定其变化曲线，即 $y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ，其中 $y = t_{B,s}$ 是标准铅片或参考材料的厚度， $x = \ln(F_{B,s})$ 。再在相同位置处，将待测样品替换标准铅片或参考材料，测量待测样品在相应辐照条件下的衰减比（ $F_B$ ），将 $x = \ln(F_B)$ 代入到二阶多项式中，得到待测样品的铅当量或衰减当量。注意待测样品和参考材料需分别在同一X射线设备的射线束下测定。

## 6.3 逆宽射束条件下的测量

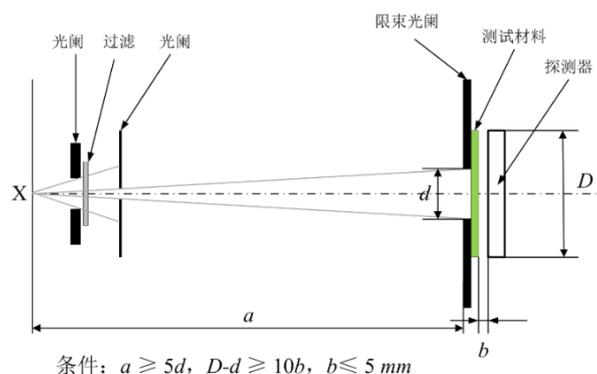


图3 逆宽射束测量条件示意图

### 6.3.1 概述

对于给定的待测样品的衰减比 $F_{IB}$ ，应在逆宽射束条件下根据图3所示的布局来测量。X射线管离周围墙壁（包括地板和天花板）至少1.2 m，沿主辐射束方向距离墙壁至少1.5 m。探测器到墙或地板的最小距离为700 mm。距离 $a$ 为从焦点到限束光阑入射面的距离，不小于光阑孔直径 $d$ 的5倍，即 $a \geq 5d$ 。 $D-d \geq 10b$ 。距离 $b$ 不应超过5 mm。

宽射线束测量条件是以宽射束入射到较大区域的待测样品，并被待测样品后面的小辐射野探测器测量，而逆宽射束测量条件是以窄射束入射到较小区域的待测样品，并被与待测样品紧邻的平板探测器测量，在该条件下建议采用平板电离室对空气比释动能率进行测量。

### 6.3.2 空气比释动能率的测量

空气比释动能率应采用同一辐射探测器在相同位置下对3种不同的条件分别进行测量。

$\overset{g}{K}_0$  是辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$  是辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$  是在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率，

应满足  $\overset{g}{K}_1 \geq 10 \times \overset{g}{K}_B$ 。

应在同一辐射质、同一剂量率条件下对三者进行测量，在测量过程中，如果一次辐射束平均剂量率变化超过0.2%，应采用监督电离室监视这3种测量情况，并将3个测得值归一化为相同的一次辐射束剂量率。

### 6.3.3 衰减比

逆宽射束条件下的衰减比 $F_{IB}$ 按以下方法得到：

$$F_{IB} = \frac{\overset{g}{K}_0 - \overset{g}{K}_B}{\overset{g}{K}_1 - \overset{g}{K}_B} \quad (6)$$

式中：

$\overset{g}{K}_0$ ——辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$ ——辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$ ——在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率。

### 6.3.4 累积因子

逆宽射束条件下的累积因子 $B$ 按以下方法得到：

$$B = \frac{F_N}{F_{IB}} \quad (7)$$

式中：

$F_N$ ——窄射束条件下测得的衰减比；

$F_{IB}$ ——逆宽射束条件下测得的衰减比。

### 6.3.5 衰减当量和铅当量

首先测量不同辐射质条件下无标准铅片或参考材料，和有标准铅片或参考材料（不同厚度，至少4种）时的剂量率，计算得到标准铅片或参考材料的衰减比（ $F_{IB,s}$ ）。利用衰减比确定其变化曲线，即 $y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ，其中 $y = t_{IB,s}$ 是标准铅片或参考材料的厚度， $x = \ln(F_{IB,s})$ 。再在相同位置处，将待测样品替换标准铅片或参考材料，测量待测样品在相应辐照条件下的衰减比（ $F_{IB}$ ），将 $x = \ln(F_{IB})$ 代入到二阶多项式中，得到待测样品的铅当量或衰减当量。注意待测样品和参考材料需分别在同一X射线设备的射线束下测定。

## 6.4 改进逆宽射束条件下的测量

### 6.4.1 概述

对于给定的待测样品的衰减比 $F_{IB}$ ，应在改进逆宽射束条件下根据图4所示的布局来测量。存在IB-AP和IB-AT两个布局，其区别在于待测样品与探测器之间的距离。IB代表逆宽射束条件，AP代表初级辐射束衰减（只包含经过衰减的主射束光子），待测样品在光阑 $a_4$ 的前面，AT代表总辐射束衰减（经过衰减的主射束光子和散射光子），待测样品紧靠近探测器。光阑 $a_2$ 限制射线束的尺寸，光阑 $a_3$ 用于保护监督电离室免受后面散射辐射的影响。在距焦点1 m处，可实现直径为4 cm、8 cm、10 cm和15 cm的辐射野。IB-AP条件下待测样品距焦点约55 cm，光阑 $a_4$ 用于防护距焦点1 m处的探测器，减少进入探测器的散射光子份额。限束光阑 $a_5$ 的孔尺寸为2 cm×2 cm，限制探测器入射窗口的辐射野。在该条件下建议采用平板电离室对空气比释动能率进行测量。

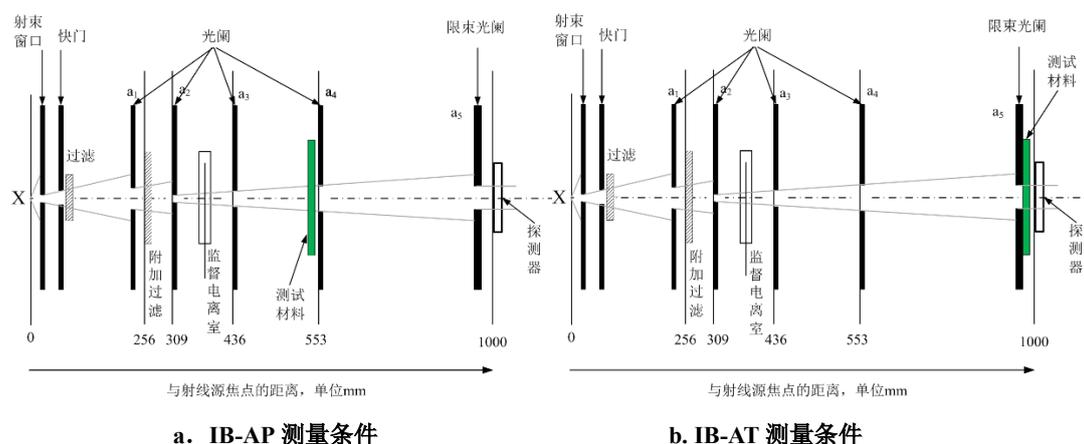


图4 改进的逆宽射束测量条件示意图

### 6.4.2 空气比释动能率的测量

空气比释动能率应采用同一辐射探测器在相同位置下对3种不同的条件分别进行测量。

$\overset{g}{K}_0$  是辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$  是辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$  是在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率，

应满足  $\overset{g}{K}_1 \geq 10 \times \overset{g}{K}_B$ 。

应在同一辐射质、同一剂量率条件下对三者进行测量，在测量过程中，如果一次辐射束平均剂量率变化超过0.2%，应采用监督电离室监视这3种测量情况，并将3个测得值归一化为相同的一次辐射束剂量率。

### 6.4.3 衰减比

改进逆宽束条件下的衰减比 $F_{IB}$ 按以下方法得到：

$$F_{IB} = \frac{\overset{g}{K}_0 - \overset{g}{K}_B}{\overset{g}{K}_1 - \overset{g}{K}_B} = \frac{F_N}{B} \quad (8)$$

式中：

$\overset{g}{K}_0$ ——辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$ ——辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$ ——在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率。

#### 6.4.4 累积因子

改进逆宽束条件下的累积因子 $B$ 按以下方法得到:

$$B = \frac{\dot{K}_{AT}}{\dot{K}_{AP}} \quad (9)$$

式中:

$\dot{K}_{AP}$ ——IB-AP条件下测得的空气比释动能率;

$\dot{K}_{AT}$ ——IB-AT条件下测得的空气比释动能率。

#### 6.4.5 衰减当量和铅当量

首先测量标准铅片或参考材料(不同厚度,至少4种)在IB-AT和IB-AP条件下的剂量率,计算累积因子 $B$ ,在窄束条件下测得标准铅片或参考材料(不同厚度)的衰减比( $F_{N,s}$ ),利用公式(8)计算得到标准铅片或参考材料的衰减比( $F_{IB,s}$ )。利用衰减比确定其变化曲线,即 $y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ,其中 $y = F_{IB,s}$ 是标准铅片或参考材料的厚度,  $x = \ln(F_{IB,s})$ 。再在相同位置处,将待测样品替换标准铅片或参考材料,测量待测样品在相应辐照条件下的衰减比( $F_{IB}$ ),将 $x = \ln(F_{IB})$ 代入到二阶多项式中,得到待测样品的铅当量或衰减当量。注意待测样品和参考材料需分别在同一X射线设备的射线束下测定。

#### 6.5 改进宽射束条件下的测量

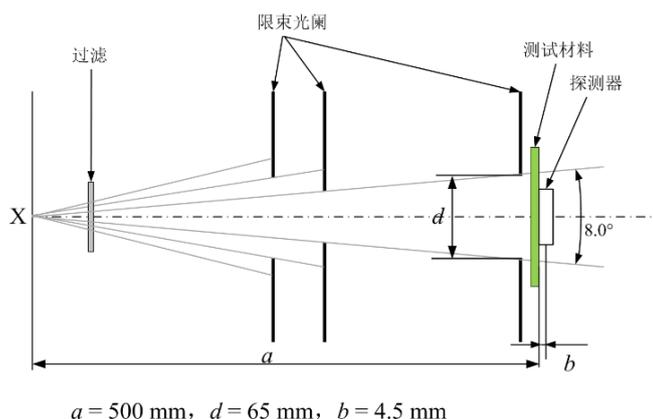


图5 改进的宽射束条件示意图

##### 6.5.1 概述

对于给定的待测样品的衰减比,应在改进的宽射束条件下测量,图5所示。待测样品与探测器的入射面直接接触。焦点与探测器入射面的距离为500 mm。在该条件下建议采用平板电离室对空气比释动能率进行测量。

##### 6.5.2 空气比释动能率的测量

空气比释动能率应采用同一辐射探测器在相同位置下对3种不同的条件分别进行测量。

$\dot{K}_0$ 是辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率;

$\dot{K}_1$ 是辐射线束中有待测样品的空气比释动能率;

$\dot{K}_B$ 是在辐射线束中采用一片形状相同,衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率,

应满足  $\dot{K}_1 \geq 10 \times \dot{K}_B$ 。

应在同一辐射质、同一剂量率条件下对三者进行测量，在测量过程中，如果一次辐射束平均剂量率变化超过0.2%，应采用监督电离室监视这3种测量情况，并将3个测得值归一化为相同的一次辐射束剂量率。在限束光阑处平面内任意一点处辐射束剂量率偏差不超过2%。

### 6.5.3 衰减比

改进宽束条件下的衰减比 $F_B$ 按以下方法得到：

$$F_B = \frac{\overset{g}{K}_0 - \overset{g}{K}_B}{\overset{g}{K}_1 - \overset{g}{K}_B} \quad (10)$$

式中：

$\overset{g}{K}_0$ ——辐射线束中没有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_1$ ——辐射线束中有待测样品的空气比释动能率；

$\overset{g}{K}_B$ ——在辐射线束中采用一片形状相同，衰减比大于 $10^5$ 的材料替代待测样品的空气比释动能率。

### 6.5.4 累积因子

改进宽束条件下的累积因子 $B$ 按以下方法得到：

$$B = \frac{F_N}{F_B} \quad (11)$$

式中：

$F_N$ ——窄射束条件下测得的衰减比；

$F_B$ ——改进的宽射束条件下测得的衰减比。

### 6.5.5 衰减当量和铅当量

首先测量不同辐射质条件下无标准铅片或参考材料，和有标准铅片或参考材料（不同厚度，至少4种）时的剂量率，计算得到标准铅片或参考材料的衰减比（ $F_{B,s}$ ）。利用衰减比确定其变化曲线，即 $y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ，其中 $y = t_{B,s}$ 是标准铅片或参考材料的厚度， $x = \ln(F_{B,s})$ 。再在相同位置处，将待测样品替换标准铅片或参考材料，测量待测样品在相应辐照条件下的衰减比（ $F_B$ ），将 $x = \ln(F_B)$ 代入到二阶多项式中，得到待测样品的铅当量或衰减当量。注意待测样品和参考材料需分别在同一X射线设备的射线束下测定。

## 7 测量结果的说明

### 7.1 如果按本文件检测的性能符合本文件，则应在检测文件上予以说明，例如：

衰减比  $2 \times 10^2$ : 窄射束，120 kV 2.5 mmAl;

累积因子 1.4: 逆宽射束，120 kV 2.5 mmAl;

衰减当量 2 mmFe: 逆宽射束，120 kV 2.5 mmAl;

铅当量 2.5 mmPb: 宽射束，120 kV 2.5 mmAl;

衰减当量及非均匀性: 2 mm $\pm$ 0.1 mmFe 窄射束，120 kV 2.5 mmAl。

### 7.2 少铅/无铅辐射屏蔽材料的适当位置应有如下标志：

- a) 产品名称;
- b) 产品型号;
- c) 产品规格;
- d) 衰减比;
- e) 厂家标称铅当量;
- f) 累积因子;
- g) 生产日期;

h) 制造厂名称、厂址。

## 附录 A

### 衰减比、累积因子和第一半值层表格

当不同厚度的参考铅材料作为过滤时，表1所规定的辐射质下衰减比、累积因子和第一半值层的计算值见表A.1~A.3。

表A.1 规定辐射质 0.125 mmPb~2 mmPb 下的衰减比  $F_N^*$

mmPb	30 kV	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV	140 kV	150 kV
0	1.00E+00												
0.125	8.65E+02	7.84E+01	2.70E+01	1.49E+01	1.01E+01	7.41E+00	5.88E+00	5.06E+00	4.53E+00	4.14E+00	3.83E+00	3.57E+00	3.36E+00
0.25	1.64E+05	1.50E+03	1.98E+02	6.63E+01	3.31E+01	1.97E+01	1.37E+01	1.11E+01	9.67E+00	8.67E+00	7.87E+00	7.19E+00	6.61E+00
0.35		1.24E+04	7.78E+02	1.79E+02	7.12E+01	3.68E+01	2.33E+01	1.84E+01	1.59E+01	1.42E+01	1.28E+01	1.16E+01	1.05E+01
0.5			5.08E+03	6.74E+02	1.95E+02	8.29E+01	4.64E+01	3.54E+01	3.04E+01	2.71E+01	2.44E+01	2.20E+01	1.96E+01
1				3.14E+04	3.34E+03	7.89E+02	3.04E+02	2.10E+02	1.78E+02	1.61E+02	1.47E+02	1.32E+02	1.14E+02
1.5					4.09E+04	5.53E+03	1.48E+03	9.42E+02	7.82E+02	7.10E+02	6.58E+02	5.97E+02	5.15E+02
2						3.35E+04	6.24E+03	3.72E+03	3.03E+03	2.75E+03	2.57E+03	2.37E+03	2.04E+03

表A.2 规定辐射质 0.25 mmPb、0.35 mmPb 和 0.50 mmPb 下的累积因子  $B^*$

mmPb	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV	90 kV	100 kV	110 kV	120 kV	130 kV	140 kV	150 kV
0.25	1.29	1.26	1.23	1.2	1.19	1.21	1.23	1.25	1.27	1.28	1.28
0.35	1.37	1.31	1.27	1.24	1.22	1.24	1.27	1.30	1.32	1.33	1.33
0.50	1.47	1.35	1.32	1.28	1.26	1.29	1.33	1.38	1.41	1.43	1.44

注：计算值来源于公式  $B = \frac{F_N}{F_{IB}}$ （见公式（7））。

表A.3 规定辐射质 0.125 mmPb~2 mmPb 过滤下的第一半值层（mmAl）<sup>\*</sup>

mmPb	30 kV	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV	90 kV	100kV	110kV	120kV	130kV	140kV	150kV
0	1.0	1.4	1.8	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2
0.125	1.8	3.0	4.2	5.3	6.3	7.2	7.9	8.4	8.9	9.2	9.6	10.0	10.3
0.25	2.0	3.5	5.1	6.4	7.6	8.6	9.4	9.9	10.2	10.5	10.8	11.1	11.5
0.35	2.0	3.7	5.4	6.9	8.2	9.3	10.1	10.5	10.7	11.0	11.3	11.6	12.0
0.5	2.1	3.9	5.8	7.4	8.8	9.9	10.7	11.1	11.3	11.5	11.7	12.1	12.5
1	2.4	4.2	6.3	8.1	9.7	10.9	11.8	12.1	12.2	12.3	12.5	12.8	13.3
1.5	2.5	4.4	6.5	8.4	10.1	11.3	12.4	12.6	12.7	12.7	12.8	13.1	13.6
2	2.6	4.5	6.6	8.6	10.3	11.6	12.7	12.9	12.9	13.0	13.0	13.2	13.8

上述结果基于德国联邦物理技术研究院（PTB）主射束光子注量谱条件测量得到，可作为参考。检测过程中实际使用的光子注量谱和辐射探测器与 PTB 存在差异，因此检测实验室测得结果可能与附录 A 参考值一定差异。

## 参 考 文 献

- [1] Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN 6857.1 Strahlenschutzbehörbeimedizinischer Anwendung von Röntgenstrahlung – Teil 1: Bestimmung der Abschirm Eigenschaften von bleifreier oder bleireduzierter Schutzkleidung[S]. Berlin, Germany: Beuth Verlag GmbH, 2009.
- [2] Büermann L. Determination of lead equivalent values according to IEC 61331-1:2014—Report and short guidelines for testing laboratories[J]. Journal of Instrumentation, 2016, 11(09):T09002-T09002.
- [3] Eder H, Schlattl H. IEC 61331-1: A new setup for testing lead free X-ray protective clothing[J]. Physica Medica, 2018, 45:6-11.