

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3264—2025

眼晶状体辐射量的测定 X 和 γ 辐射

2025 - 03 - 19 发布

2025 - 04 - 19 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 连续谱过滤 X 辐射 2

 4.1 辐射质 2

 4.2 参考辐射的选择 2

 4.3 参考辐射的要求 5

5 放射性核素 γ 辐射 5

 5.1 用于产生 γ 辐射的放射线核素 5

 5.2 放射源技术要求 6

6 测定程序 6

 6.1 实验条件 6

 6.2 标准设备 6

 6.3 空气比释动能的测定 6

 6.4 空气比释动能到眼晶状体剂量当量的转换 7

7 转换系数 7

 7.1 低空气比释动能系列 7

 7.2 窄束系列 8

 7.3 宽束系列 8

 7.4 高空气比释动能系列 9

 7.5 放射性核素 9

8 不确定度 10

附录 A（规范性） 圆柱状体模结构示意图 11

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由四川省经济和信息化厅提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：中国测试技术研究院辐射研究所、中国人民解放军陆军特色医学中心医研部、四川省肿瘤医院、四川省产品质量监督检验检测院、四川省人民医院、中国核动力研究设计院、四川省疾病预防控制中心。

本文件主要起草人：刘操、黄平、苏坤普、康盛伟、唐诗俊、邹练、王旭、贺良国、杨春生。

眼晶状体辐射量的测定 X 和 γ 辐射

1 范围

本文件规定了辐射防护中用于眼晶状体辐射量的测定要求。

本文件适用于空气比释动能率高于 $1\ \mu\text{Gy/h}$ ，能量范围为 $30\ \text{keV}\sim 1.3\ \text{MeV}$ ，剂量当量范围为 $10\ \mu\text{Sv}\sim 1\ \text{Sv}$ 的X和 γ 辐射场。

本文件不适用于其它辐射。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

剂量当量 dose equivalent

组织中一点的吸收剂量 和品质因子 的乘积。

参见：式（1）。

$$= \cdot \dots\dots\dots (1)$$

注：剂量当量的单位是焦耳每千克（ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ），专用名称为希沃特（Sv），对于本部分中涉及的光子辐射的品质因子为1。

[来源：ISO 29661:2012, 3.2.7]

3.2

眼晶状体剂量当量 eye lens dose equivalent

（ ）

人体规定点以下深度3mm处软组织的剂量当量。个人剂量当量的单位是焦耳每千克（ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ），专用名称为希沃特（Sv）。

[来源：ISO 29661:2012, 3.2.15]

3.3

参考点 reference point

测量仪上的一点，在进行试验时将该点放置在检验点上。

注：测量距离系指辐射源到测量仪参考点的距离。

[来源：ISO 29661:2012, 3.1.32]

3.4

检验点 point of test

辐射场中的一点，在进行校准或试验时，测量仪的参考点放置在该点上，该点被测量量的约定真值已知。

[来源：ISO 29661:2012, 3.1.23]

3.5

空气比释动能到剂量当量的转换系数 conventional true value of quantity

辐射场中一点剂量当量 与空气比释动能 的商。
参见：式（2）。

= $\frac{H}{a}$ (2)

[来源：ISO 4037-1:2019, 3.1]

4 连续谱过滤 X 辐射

4.1 辐射质

4.1.1 过滤 X 辐射的辐射质由以下参数表征：

- a) 辐射束的平均能量，以千电子伏（keV）表示；
- b) 分辨率 ；
- c) 半值层（空气比释动能）HVL，用毫米铝或毫米铜表示；
- d) 同质系数 。

4.1.2 实际上，辐射质主要依赖于：

- a) 加在 X 射线管上的高压；
- b) 总过滤的性质和厚度；
- c) 靶特性。

4.1.3 参考辐射的选择规定了4个系列的参考辐射（见表 1），每个系列由谱的分辨率表征：

- a) 低空气比释动能率系列（L-系列）；
- b) 窄谱系列（N-系列）；
- c) 宽谱系列（W-系列）；
- d) 高空气比释动能率系列（H-系列）。

表1 连续谱过滤 X 辐射规范

系列名称	分辨率 ^a ,	同质系数,
低空气比释动能率（L-系列）	0.11~0.23	0.91~0.99
窄谱（N-系列）	0.27~0.37	0.88~1.0
宽谱（W-系列）	0.48~0.57	0.81~0.97
高空气比释动能率（H-系列）	0.35~0.69	0.64~0.89
注：表 1 数据来源于 ISO 4037-1:2019 Table 2。		
^a 距 X 射线管焦斑 2.5 m 处。		

只要空气比释动能率在受测试的仪器量程范围内，建议用最窄的谱（最小分辨率的谱）来测量仪器响应随光子能量的变化。高空气比释动能率系列适于测定一些仪器的过载特性。
4个系列中每一个系列的工作条件，分别详见表2、表3、表4和表5。

表2 低空气比释动能率系列的特性（L-系列）

辐射质	平均能量, — keV	分辨率, %	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm				1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
					Pb	Sn	Cu	Al		
L-10	9.0	—	10	1 mm Be	—	—	—	0.3	0.073 Al	0.076 Al
L-20	17.3	21	20	1 mm Be	—	—	—	2.0	0.446 Al	0.489 Al
L-30	26.7	21	30	1 mm Be	—	—	0.18	4.0	1.56 Al	1.63 Al
L-35	30.4	21	35	4 mm Al	—	—	0.25	—	2.18 Al	2.30 Al
L-55	47.8	22	55	4 mm Al	—	—	1.2	—	0.249 Cu	0.261 Cu
L-70	60.6	22	70	4 mm Al	—	—	2.5	—	0.484 Cu	0.506 Cu
L-100	86.8	22	100	4 mm Al	—	2.0	0.5	—	1.22 Cu	1.26 Cu
L-125	109	21	125	4 mm Al	—	4.0	1.0	—	1.98 Cu	2.02 Cu
L-170	149	18	170	4 mm Al	1.5	3.0	1.0	—	3.40 Cu	3.47 Cu
L-210	185	18	210	4 mm Al	3.5	2.0	0.5	—	4.50 Cu	4.55 Cu
L-240	211	18	240	4 mm Al	5.5	2.0	0.5	—	5.18 Cu	5.21 Cu

注：表 2 数据来源于 ISO 4037-1:2019 Table 3。

^a 管电压在有负荷时测量。

^b 总过滤由固有过滤和附加过滤组成。

^c HVL 在距离焦斑 2.5 m 处测量。

表3 窄谱系列的特性（N-系列）

辐射质	平均能量, — keV	分辨率, %	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm				1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
					Pb	Sn	Cu	Al		
N-10	8.5	28	10	1 mm Be	—	—	—	0.1	0.065 Al	0.068 Al
N-15	12.4	33	15	1 mm Be	—	—	—	0.5	0.173 Al	0.197 Al
N-20	16.3	34	20	1 mm Be	—	—	—	1.0	0.362 Al	0.412 Al
N-25	20.3	33	25	1 mm Be	—	—	—	2.0	0.677 Al	0.760 Al
N-30	24.6	32	30	1 mm Be	—	—	—	4.0	1.17 Al	1.29 Al
N-40	33.3	30	40	4 mm Al	—	—	0.21	—	2.65 Al	2.84 Al
N-60	47.9	36	60	4 mm Al	—	—	0.6	—	0.235 Cu	0.264 Cu
N-80	65.2	32	80	4 mm Al	—	—	2.0	—	0.580 Cu	0.623 Cu
N-100	83.3	28	100	4 mm Al	—	—	5.0	—	1.09 Cu	1.15 Cu
N-120	100	27	120	4 mm Al	—	1.0	5.0	—	1.67 Cu	1.74 Cu
N-150	118	37	150	4 mm Al	—	2.5	—	—	2.30 Cu	2.41 Cu
N-200	165	30	200	4 mm Al	1.0	3.0	2.0	—	3.91 Cu	3.99 Cu
N-250	207	28	250	4 mm Al	3.0	2.0	—	—	5.08 Cu	5.14 Cu
N-300	248	27	300	4 mm Al	5.0	3.0	—	—	5.94 Cu	5.99 Cu

表3 窄谱系列的特性（N-系列）（续）

辐射质	平均能量, — keV	分辨率, %	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm				1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
N-350	288	29	350	4 mm Al	7.0	4.5	—	—	6.69 Cu	6.74 Cu
N-400	328	27	400	4 mm Al	10.0	6.0	—	—	7.31 Cu	7.34 Cu
注：表 3 数据来源于 ISO 4037-1:2019 Table 4。										
^a 管电压在有负荷时测量。										
^b 总过滤由固有过滤和附加过滤组成。										
^c HVL 在距离焦点 2.5 m 处测量。										

表4 宽谱系列的特性（W-系列）

辐射质	平均能量, — keV	分辨率, %	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm			1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
					Sn	Cu	Al		
W-30	22.9	—	30	1 mm Be	—	—	2.0	0.886 Al	1.04 Al
W-40	29.8	—	40	1 mm Be	—	—	4.0	1.75 Al	2.06 Al
W-60	44.8	48	60	4 mm Al	—	0.3	—	0.181 Cu	0.216 Cu
W-80	56.5	55	80	4 mm Al	—	0.5	—	0.350 Cu	0.434 Cu
W-110	79.1	51	110	4 mm Al	—	2.0	—	0.934 Cu	1.08 Cu
W-150	104	56	150	4 mm Al	1.0	—	—	1.79 Cu	2.04 Cu
W-200	138	57	200	4 mm Al	2.0	—	—	3.01 Cu	3.25 Cu
W-250	172	56	250	4 mm Al	4.0	—	—	4.14 Cu	4.34 Cu
W-300	205	57	300	4 mm Al	6.5	—	—	5.02 Cu	5.18 Cu
注：表4数据来源于ISO 4037-1:2019 Table 5。									
^a 管电压在有负荷时测量。									
^b 总过滤由固有过滤和附加过滤组成。									
^c HVL 在距离焦点 2.5 m 处测量。									

表5 高空气比释动能率系列的特性（H-系列）

辐射质	平均能量, — keV	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm		1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
				Al	Cu		
H-10	8.0	10	1 mm Be	—	—	0.059 Al	0.063 Al
H-20	13.1	20	1 mm Be	0.15	—	0.169 Al	0.228 Al
H-30	19.5	30	1 mm Be	0.50	—	0.441 Al	0.636 Al
H-40	25.4	40	1 mm Be	1.0	—	0.884 Al	1.24 Al
H-60	38.0	60	1 mm Be	3.9	—	2.61 Al	3.44 Al

表5 高空气比释动能率系列的特性（H-系列）（续）

辐射质	平均能量， keV	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm		1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
H-80	48.8	80	4 mm Al	3.2	—	0.181 Cu	0.268 Cu
辐射质	平均能量， keV	管电压 ^a kV	固有过滤 ^b	附加过滤 ^b mm		1st HVL ^c mm	2nd HVL ^c mm
H-100	57.3	100	4 mm Al	—	0.15	0.299 Cu	0.466 Cu
H-150	78.0	150	4 mm Al	—	0.5	0.811 Cu	1.21 Cu
H-200	99.3	200	4 mm Al	—	1.0	1.55 Cu	2.38 Cu
H-250	122	250	4 mm Al	—	1.6	2.42 Cu	3.23 Cu
H-280 ^d	145	280	4 mm Al	—	3.0	3.28 Cu	3.89 Cu
H-300	143	300	4 mm Al	—	2.2	3.22 Cu	3.98 Cu
H-350	167	350	4 mm Al	—	3.4	4.01 Cu	4.65 Cu
H-400	190	400	4 mm Al	—	4.7	4.65 Cu	5.22 Cu
注：表5数据来源于ISO 4037-1:2019 Table 6。							
^a 管电压在有负荷时测量。							
^b 总过滤由固有过滤和附加过滤组成。							
^c HVL 在距离焦斑 2.5 m 处测量。							
^d 该参考辐射被引入用于在最大负载条件下无法达到 300 keV 时，作为 300 keV 的替代辐射。							

4.2 参考辐射的要求

- 4.2.1 X 射线管靶材采用钨靶，反射型。
- 4.2.2 使用管电压纹波小于 10%的 X 射线机。
- 4.2.3 在每一检验点，在整个探测器灵敏体积上，空气比释动能率的变化不大于 5%。在测量距离上散射辐射的贡献不大于该点总空气比释动能率的 5%。

5 放射性核素 γ 辐射

5.1 用于产生 γ 辐射的放射线核素

采用的放射性核素，见表6。

表6 放射性核素特性

辐射质	放射性核素	辐射能量 keV	半衰期 a	空气比释动能率常数 ^a · · ·
S-Cs	¹³⁷ Cs	661.7	30.05±0.08	0.079
S-Co	⁶⁰ Co	1173.3 1332.5	5.2711±0.0008	0.31
注：表 6 数据来源于 ISO 4037-1:2019 Table 15。				
^a 空气比释动能率常数（见 ICRU 报告85a）只在无屏蔽点源情况下有效。				

5.2 放射源技术要求

放射源的尺寸宜尽可能小，使用具有足够高比活度的放射性物质。
由主要放射性杂质产生的空气比释动能率应小于所用同位素辐射产生的空气比释动能率的1%。
放射性核素的比活度实例及推荐的化学形态，见表7。

表7 放射性核素的比活度实例及推荐的化学形态

放射性核素	比活度 Bq/kg	推荐的化学形态
¹³⁷ Cs	8.51×10 ¹⁴	氯化物
⁶⁰ Co	3.7×10 ¹⁵	金属
注1： ⁶⁰ Co特别适宜制作具有高比活度的辐射源。由于新制作的 ¹³⁷ Cs放射源可能含有相当数量的 ¹³⁴ Cs，进行衰减修正时应考虑这两种铯同位素的不同半衰期。因此，建议使用经老化的 ¹³⁷ Cs放射源，放射源制造商也应给出其中杂质的详细说明。		
注2：表7数据来源于ISO 4037-1:2019 Table 15。		

来自环境散射辐射的空气比释动能率，不应超过直接辐射的空气比释动能率的5%。在不同实验距离上，放射源以外的散射辐射的贡献不超过总空气比释动能率的5%。

6 测定程序

6.1 实验条件

6.1.1 体模

对于眼晶状体测量仪，应使用圆柱状体模，其结构示意图及尺寸见附录A。

6.1.2 发散束的几何考虑

应在距辐射源适当的距离上选取测量点，以使射束截面尺寸足够大而照射到整个体模的前表面。应将标准仪器的参考点置于测量点上确定被测量，并使测量仪的参考方向与辐射入射方向平行。

6.1.3 环境条件

环境温度15℃~25℃，相对湿度50%~75%，大气压力86.0 kPa~106kPa，环境辐射本底周围剂量当量率不大于0.25 。

6.2 标准设备

用于参考辐射测量的仪器应当是基准仪器或次级标准仪器，或者其他适当的仪器，其量值可溯源到基准。标准仪器的刻度周期应符合国家有关规定。如果没有相关规定，刻度时间间隔不能超过两年。通常，测量仪器由电离室组件和测量组件组成。标准仪器应在所使用的能量、空气比释动能率和量值范围内，量值溯源到基准或标准。标准仪器校准因子的扩展不确定度在30 keV以上至1.5 MeV的能量范围内不得超过4%（*k* = 2）。

6.3 空气比释动能的测定

6.3.1 定位和取向

测量时标准电离室应按照校准实验室的规定固定在参考辐射束的轴线上，并按需要选取电离室参考点与源的距离。电离室相对于射束的取向应为参考取向，并与制造商说明一致。

6.3.2 标准器的操作

按照标准器的使用说明书，选择工作方式，预热、调零和测量空气比释动能。
通常放射性核素产生的参考辐射场不需要监测仪。而对于X参考辐射场，一般建议使用监测仪。

6.3.3 空气比释动能的计算

对于能量为 的参考辐射，空气比释动能 ，由下式确定：
$$= M \cdot N_k [(1 - a) \cdot k_{\alpha} \cdot k_m] \dots\dots\dots (3)$$

- 式中：
- M ——标准电离室测量数值；
 - N_k ——由⁶⁰Coγ射线得到的校准因子；
 - $(1 - a)$ ——空气中产生韧致辐射的修正；
 - k_{α} ——初级辐射在电离室壁和平衡帽中吸收和散射的修正；
 - k_m ——电离室壁和平衡帽与非空气等效的修正。

6.4 空气比释动能到眼晶状体剂量当量的转换

对于眼晶状体监测，被测量是眼晶状体剂量当量 ()。体模的测量深度为3 mm, 对于转换系数是针对直径为20 cm，高度为20 cm的圆柱状体模。眼晶状体剂量当量的约定值由空气中同一点的空气比释动能 的测量值乘以转换系数 ()得到，即：

$$() = \cdot () \dots\dots\dots (4)$$

第 7 部分给出了自由空气比释动能到眼晶状体剂量当量 ()的转换系数 ()。

7 转换系数

7.1 低空气比释动能系列

对于X射线低空气比释动能辐射质，圆柱状体模中空气比释动能 到剂量当量 ()的转换系数 ()，见表8。

表8 转换系数 ()

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
L-10	0.158	0.148	0.121	0.078	0.032	0.0037	0.000050
L-20	0.74	0.73	0.71	0.66	0.57	0.40	0.124
L-30	1.12	1.11	1.09	1.06	0.98	0.82	0.46
L-35	1.22	1.21	1.19	1.16	1.09	0.93	0.58
L-55	1.55	1.55	1.53	1.49	1.43	1.29	0.96
L-70	1.65	1.65	1.63	1.60	1.53	1.40	1.10
L-100	1.62	1.62	1.61	1.59	1.54	1.44	1.17

表 8 转换系数 () (续)

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
L-125	1.55	1.55	1.54	1.53	1.49	1.41	1.17
L-170	1.45	1.45	1.45	1.44	1.42	1.36	1.15
L-210	1.39	1.39	1.39	1.39	1.38	1.33	1.14
L-240	1.36	1.36	1.36	1.36	1.35	1.31	1.14
注：表8数据来源于ISO 4037-3-2019 Table 40。							

7.2 窄束系列

对于X射线窄束辐射质，圆柱状体模中空气比释动能 到剂量当量 ()的转换系数 () ，见表9。

表9 转换系数 ()

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
N-10	0.129	0.121	0.097	0.061	0.0237	0.00245	0.0000241
N-15	0.42	0.41	0.38	0.32	0.244	0.147	0.036
N-20	0.67	0.66	0.63	0.58	0.50	0.35	0.102
N-25	0.88	0.87	0.85	0.80	0.72	0.54	0.212
N-30	1.04	1.03	1.01	0.97	0.89	0.72	0.37
N-40	1.28	1.27	1.25	1.22	1.15	1.00	0.65
N-60	1.54	1.53	1.51	1.48	1.41	1.27	0.95
N-80	1.66	1.65	1.64	1.60	1.54	1.42	1.12
N-100	1.63	1.63	1.62	1.59	1.54	1.44	1.17
N-120	1.58	1.58	1.57	1.55	1.51	1.42	1.17
N-150	1.52	1.52	1.51	1.50	1.47	1.40	1.16
N-200	1.42	1.42	1.42	1.42	1.40	1.34	1.15
N-250	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.31	1.14
N-300	1.32	1.33	1.33	1.33	1.32	1.29	1.13
N-350	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.27	1.13
N-400	1.27	1.27	1.27	1.28	1.28	1.26	1.12
注：表9数据来源于ISO 4037-3-2019 Table 41。							

7.3 宽束系列

对于X射线宽束辐射质，圆柱状体模中空气比释动能 到剂量当量 ()的转换系数 () ，见表10。

表10 转换系数 ()

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
W-30	0.96	0.95	0.93	0.89	0.81	0.63	0.292
W-40	1.16	1.15	1.14	1.10	1.02	0.86	0.51
W-60	1.48	1.47	1.45	1.42	1.35	1.21	0.88
W-80	1.60	1.59	1.57	1.54	1.47	1.34	1.03
W-110	1.63	1.63	1.62	1.59	1.54	1.43	1.15
W-150	1.55	1.55	1.54	1.53	1.49	1.41	1.16
W-200	1.47	1.47	1.47	1.46	1.43	1.37	1.15
W-250	1.41	1.41	1.41	1.40	1.39	1.34	1.14
W-300	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.31	1.14
注：表10数据来源于ISO 4037-3-2019 Table 42。							

7.4 高空气比释动能系列

对于X射线高空气比释动能辐射质，圆柱状体模中空气比释动能 到剂量当量 ()的转换系数 () ， 见表11。

表11 转换系数 ()

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
H-10	0.110	0.102	0.081	0.050	0.0188	0.00186	0.0000192
H-20	0.43	0.42	0.39	0.34	0.268	0.170	0.046
H-30	0.74	0.73	0.71	0.66	0.58	0.43	0.166
H-40	0.96	0.96	0.93	0.89	0.81	0.64	0.32
H-60	1.29	1.28	1.26	1.23	1.16	1.00	0.66
H-80	1.46	1.46	1.44	1.41	1.34	1.20	0.87
H-100	1.54	1.54	1.52	1.49	1.42	1.29	0.98
H-150	1.60	1.59	1.58	1.56	1.51	1.40	1.12
H-200	1.55	1.55	1.54	1.52	1.48	1.39	1.15
H-250	1.49	1.49	1.49	1.47	1.45	1.37	1.15
H-280	1.45	1.45	1.44	1.44	1.42	1.35	1.15
H-300	1.45	1.45	1.44	1.44	1.41	1.35	1.15
H-350	1.41	1.41	1.40	1.40	1.39	1.33	1.14
H-400	1.38	1.38	1.37	1.37	1.36	1.32	1.14
注：表11数据来源于ISO 4037-3-2019 Table 43。							

7.5 放射性核素

对于放射性核素辐射质，圆柱状体模中空气比释动能 到剂量当量 ()的转换系数 () ， 见表12。

表12 转换系数 ()

辐射质	() (), 参考距离为2.5 m, 入射角为						
	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
S-Cs	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20	1.19	1.11
S-Co	1.14	1.14	1.14	1.15	1.16	1.15	1.10
注：表12数据来源于ISO 4037-3-2019 Table 44。							

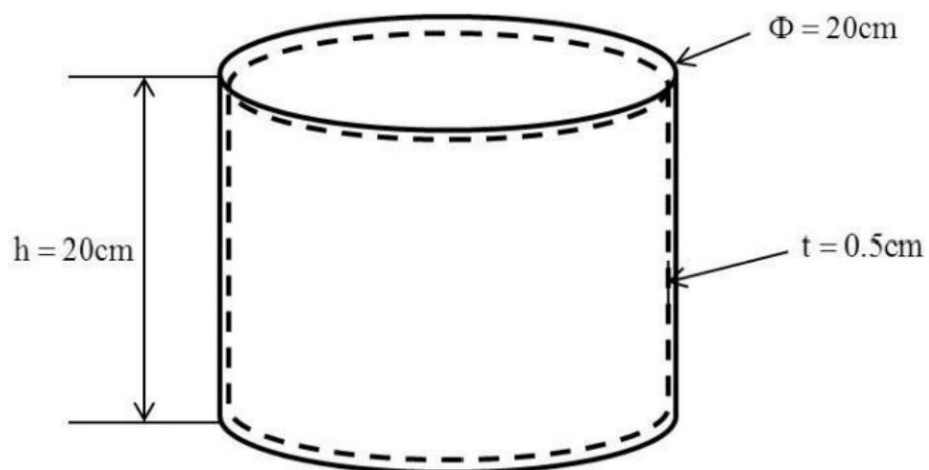
8 不确定度

不确定度评定，应考虑以下分量。

- a) 空气比释动能测量值的不确定度，由标准仪器的刻度证书给出。
- b) 标准和检验仪器准确定位的不确定度，由检验实验室评估。
- c) 照射距离带来的不确定度：大于 2 m 照射距离的不确定度为 2%，小于或等于 2 m 照射距离的不确定度由检验实验室评估。
- d) 转换系数的不确定度：满足参考的辐射场为 4%，其它特定的辐射场，其转换系数的不确定度由检验实验室评估。
- e) 辐射场截面不均匀性引起的不确定度：满足参考的辐射场且源与检验点距离大于 2 m 为4%，特定的参考辐射其转换系数的不确定度由检验实验室评估。
- f) 标准器长期的响应变化引入的不确定度小于或等于4%。

附录 A
(规范性)
圆柱状体模结构示意图

圆柱状体模的结构及尺寸见图A.1。圆柱状体模是直径为20 cm，高 h 为20 cm的有机玻璃（PMMA）充水圆柱，壁厚 t 为0.5 cm。



图A.1 圆柱状体模结构示意图

参 考 文 献

[1] GB/T 12162.1-2000 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射第1部分：辐射特性及产生方法

[2] GB/T 12162.2-2004 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射第2部分：辐射防护用的能量范围为8 keV $\sim$ 1.3 MeV和4 MeV $\sim$ 9 MeV的参考辐射的剂量测定

[3] GB/T 12162.3-2004 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的X和 γ 参考辐射第3部分：场所剂量仪和个人剂量计的校准及其能量响应和角响应的测定

[4] ISO 29661:2012 Reference radiation fields for radiation protection - Definitions and fundamental concepts

[5] ISO 4037-1:2019 Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods

[6] ISO 4037-2:2019 Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1.3 MeV and 4 MeV to 9 MeV

[7] ISO 4037-3:2019 Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

[8] BORDY J.-M., GUALDRINI G., DAURES J., MARIOTTI F. 2011, Principles for the design and calibration of radiation protection dosimeters for operational and protection quantities for eye lens dosimetry, Radiation Protection Dosimetry 144, pp. 257-261