

诊断 X 射线检测设备半值层测量结果的影响因素



王家伟¹, 魏鹏², 马伯轩³, 李德红³, 郭彬^{3*}

1. 安徽省计量科学研究院, 合肥 230051
2. 福建省计量科学研究院, 福州 350003
3. 中国计量科学研究院, 北京 100029

【摘要】 为了保证诊断 X 射线设备应用的安全有效, 针对三种型号的多参数测量仪, 分析了测量过程中可能对半值层测量产生影响的诸多因素, 比如 X 射线管电压、管电流、曝光时间、半值层仪的摆放位置等, 设计多组对照试验。试验结果显示, 管电压的偏差会导致半值层的改变, 合适的曝光时间可以获得更加稳定的测量结果。

【关键词】 半值层; 诊断 X 射线; 管电压; 管电流; 曝光时间

DOI: 10.12338/j.issn.2096-9015.2020.9038

【引用本文】 王家伟, 魏鹏, 马伯轩, 等. 诊断 X 射线检测设备半值层测量结果的影响因素 [J]. 计量科学与技术, 2021, 65(8): 3-6, 28.

Main Factors Affecting Measurement Results of the Half-value Layer of Diagnostic X-ray Testing Equipment

WANG Jiawei¹, WEI Peng², MA Boxuan³, LI Dehong³, GUO Bin³

1. Anhui Institute of Metrology, Hefei 230051, China
 2. Fujian Institute of Metrology, Fuzhou 350003, China
 3. National Institute of Metrology, Beijing 100029, China
- Corresponding author: GUO Bin, Email: guobin@nim.ac.cn

【Abstract】 At present, there are many kinds of multi-parameter measuring instruments with the function of half-value layer(HVL) measurement in the market, which can be used to measure the HVL value of diagnostic X-ray equipment. Based on three types of multi-parameter measuring instrument, we analyze many factors that may affect the measurement of HVL, such as X-ray tube voltage, tube current, exposure time, and the placement of the HVL instrument, and then design several groups of control tests. The test results show that the deviation of the tube voltage leads to changes of the HVL and that more stable measurement results can be obtained with appropriate exposure time.

【Key words】 half-value layer, diagnostic X-ray, tube voltage, tube current, exposure time

0 引言

目前市场上已有多种具有半值层测量功能的多参数测量仪, 可用来测量诊断 X 射线设备的半值层数值。为了保证诊断 X 射线设备应用的安全有效, 需要对管电压、管电流、半值层等进行有效的测量, 其中半值层(HVL)的准确测量尤为重要。医用诊断

辐射源、牙科机、DSA 等标准规范中对半值层测量提出了要求^[1]。JJG1067-2011《医用诊断数字减影血管造影(DSA)系统 X 射线辐射源》规定 70 kV 时, 半价层(HVL)应不小于 2.1 mmAl。

在建立诊断 X 射线辐射质时, 由于 X 射线管阳极角、阳极粗糙化程度以及固有过滤的设计和射线管组件使用时间不同, 两个辐射质即使具有相同的

基金项目: 国家重点研发计划资助(2018YFF0212403)。

作者简介: 王家伟(1989-), 安徽省计量科学研究院工程师, 研究方向: 电离辐射与医学计量, 邮箱: 296453239@qq.com; 通讯作者: 郭彬(1981-), 中国计量科学研究院高级工程师, 研究方向: 辐射剂量学, 邮箱: guobin@nim.ac.cn。

管电压和第一半值层,产生的辐射束谱分布仍可能具有较大差异。为了保证在标准辐射条件下进行的医疗诊断设备特性测量结果的一致性,考虑到辐射质量特征描述的固有模糊性,管电压、第一半值层等数值范围引入的误差须足够小^[2-4]。

因此,当通过使用半值层仪测量半值层,对辐射质加以验证时,如何确保所得到的测量结果准确可靠,尤为重要。笔者通过对诊断 X 射线辐射质特性的研究,分析了影响半值层测量的影响因素,并通过设计对照试验,对半值层测量的关键影响因素进行了验证^[5]。本文主要探讨了使用半值层仪测量半值层时,其测量结果会受到哪些因素的影响,关于辐射场半值层的调整在此不作探讨。

1 诊断 X 射线辐射质的描述

X 射线束并非单一能量,而是一个具有连续能谱分布的光子束,完整的表示 X 射线辐射质方法是给出其能谱分布,得到平均能量 ΔE 、分辨率 R_E 等参数,但 X 射线能谱测量在大多数实验室还较难完成^[6-7]。

早期人们通常用管电压(kVp)作为描述 X 光机辐射质的参数,在某种程度上管电压确实反映了 X 射线的质,即管电压越高, X 射线管内的电子束动能就越大,撞击阳极靶面产生的光子能量就越高。但由于管电压的测量条件限制,测量误差以及因过滤条件的差异,不同 X 光机在相同管电压下发射的 X 射线的质也有差异,因此单用管电压来描述 X 射线束质是非常粗糙的。现今的方法是通过测量规定的管电压条件下 X 射线的半值层(Half-Value Layer, HVL)和同质系数(Homogeneity Coefficient, h)来描述其辐射特性^[6-7]。比如 YY/T 0481-2016《医用诊断 X 射线设备测定特性用辐射条件》中对描述标准辐射条件的特征参数^[2]:发射靶材料、X 射线管电压、特定的总过滤、第一半价层、同质系数、应用距离等做出了相应的规定。

第一半值层:将特定辐射质下 X 射线的空气比释动能(率)减弱到一半时对应的指定材料的厚度,通常用铝片或铜片的厚度表示为 HVL_{1st} 。

第二半值层:将特定辐射质下 X 射线的空气比释动能(率)减弱到四分之一时对应的指定材料的厚度减去第一半值层的厚度,通常用铝片或铜片的厚度表示为 HVL_{2nd} 。

同质系数是第一半值层与第二半值层的比值,

能指示 X 射线能谱的宽度(特指 X 射线谱线的半高宽大小),同质系数 h 在 0 和 1 之间,值越接近 1 表示能谱越窄,越接近于有效能量的射线质,即为同质。如果两组 X 射线束的 HVL 和 h 相同,则认为 X 射线的平均能量和能谱分布基本一致^[6,8-9]。

第一半值层 HVL_{1st} 、第二半值层 HVL_{2nd} 、同质系数 h 的关系如下:

$$HVL_{1st} + HVL_{2nd} = d_{1/4} \quad (1)$$

$$HVL_{1st}/HVL_{2nd} = h \quad (2)$$

$$HVL_{1st}(1 + 1/h) = d_{1/4} \quad (3)$$

式中, $d_{1/4}$ 为使 X 射线束的空气比释动能(率)减少至四分之一时标准吸收片的厚度,单位 mm。

2 半值层仪测量半值层的原理

半值层仪由探测器、减弱过滤和测量单元(或静电计)三部分组成。其原理是通过测量穿过不同厚度的附加过滤片的射线强度,计算初始辐射强度减弱一半时的滤片厚度,得到半值层的值。表 1 列举了具有半值层测量功能的诊断 X 射线多参数测量仪的常见型号及其部分技术指标。

表 1 常见型号半值层仪

Tab.1 Types of half-value layer measuring instrument

仪器名称	型号	生产厂家	半值层测量范围和精度
	RAYSAFE X2	FLUKE	(1~14)mmAl, ±10%
X射线质量分析仪	MagicMaX	IBA	(1.3~10)mmAl, ±10%
	Piranha-657	RTI	(1.2~14)mmAl, ±10%

3 半值层测量影响因素分析和试验方案设计

3.1 试验条件和设备

1)参考辐射场:试验所用的参考辐射场为中国计量科学研究院诊断 X 射线标准辐射场,其半值层的标准值如表 2 所示。

表 2 诊断 X 射线标准辐射场半值层的参数

Tab.2 NIM half-value layer parameters of diagnostic X-ray standard radiation

管电压/kV	附加过滤/mmAl	实测第一半值层/mmAl
50	1.226	1.777
70	1.619	2.581
80	1.619	3.010
100	1.981	3.969
120	2.392	4.995

2)试验采用了 3 种不同型号半值层仪,分别为

A 型、B 型、C 型。

3)参考试验条件:管电压 70 kV、管电流 100 mA、曝光时间 100 ms、探测器与 X 光机焦斑距离 1000 mm、焦斑-探测器所处平面与焦斑-吸收片-探测器准直平面夹角 0 度。

4)测量装置布局如图 1 所示。

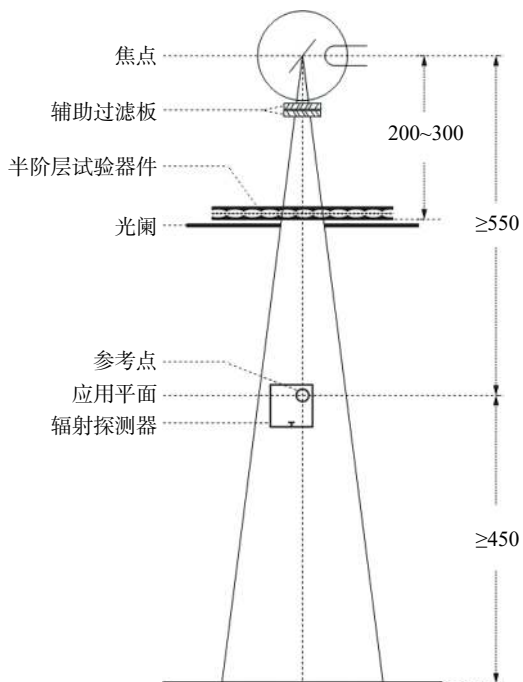


图 1 测量装置布局

Fig.1 Measuring arrangement

3.2 试验方案

本研究设计了多组对照试验,采用上述参考试验条件,改变其中某一个量,观察测量结果是否会受到该变量的影响,并验证该因素对半值层测量的影响,各对照组试验方案及试验结果如下。

3.2.1 管电压对半值层测量的影响

根据不同规范中关于所处管电压下半值层的规定,由于管电压 70 kV 或 80 kV 为常用条件,选取了 65 ~ 85 kV 范围、间隔 1 kV 进行测试,结果如表 3 所示。

可以发现,每间隔 5 kV, A 型、B 型和 C 型测量仪测量结果的偏差分别达到 0.2 mmAl、0.3 mmAl、0.2 mmAl,且半值层数值随着电压增加呈现线性增长。

半值层随管电压的变化,结果如图 2 所示。

3.2.2 管电流对半值层测量的影响

通过试验发现,管电流对半值层测量的影响很小,最大偏差小于 0.02 mmAl,可以忽略,结果见表 4。

表 3 管电压对半值层测量的影响

Tab.3 Influence of the tube voltage

管电压/kV	实测半值层/mmAl		
	型号A	型号B	型号C
65	2.320	2.600	2.160
66	2.360	2.600	2.190
67	2.400	2.600	2.220
68	2.433	2.700	2.240
69	2.467	2.700	2.280
70	2.513	2.700	2.310
71	2.540	2.800	2.347
72	2.583	2.800	2.370
73	2.607	2.800	2.427
74	2.647	2.900	2.463
75	2.680	2.900	2.517
76	2.713	2.900	2.560
77	2.747	3.000	2.593
78	2.780	3.000	2.633
79	2.810	3.100	2.670
80	2.840	3.100	2.710
81	2.857	3.100	2.730
82	2.890	3.200	2.760
83	2.927	3.200	2.800
84	2.950	3.300	2.870
85	2.983	3.300	2.870

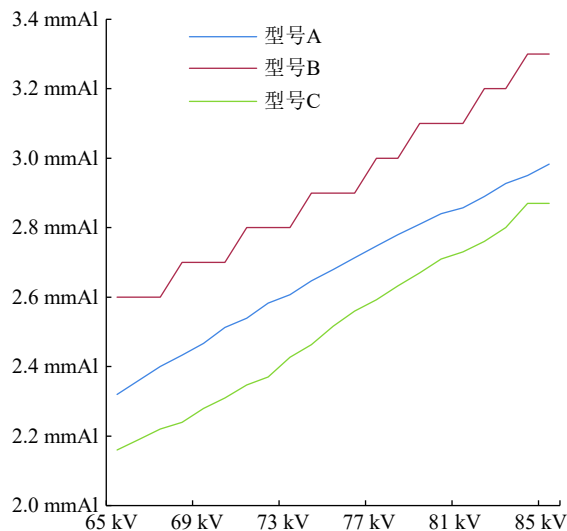


图 2 半值层随管电压变化趋势

Fig.2 HVL changes with the tube voltage

3.2.3 曝光时间对半值层测量的影响

曝光时间在 100 ms 以内时,半值层测量结果: A 型号相对标准偏差达到 2.4%, B 型号为 2.2%, C 型号为 3.2%;曝光时间在 100~1000 ms 时,测量结果比较稳定, A 型号相对标准偏差为 0.1%, B 型号为 0.0%, C 型号为 0.04%,测量结果见表 5。

表 4 管电流对半值层测量的影响
Tab.4 Influence of the tube current

管电流/mA	实测半值层/mmAl		
	型号A	型号B	型号C
63	2.508	2.700	2.330
80	2.510	2.700	2.320
100	2.512	2.700	2.310
125	2.510	2.700	2.330
160	2.509	2.700	2.310

表 5 曝光时间对半值层测量的影响
Tab.5 The effect of exposure time

曝光时间/ms	实测半值层/mmAl		
	型号A	型号B	型号C
10	2.377	2.600	2.170
25	2.456	2.700	2.260
50	2.494	2.700	2.310
100	2.507	2.700	2.310
200	2.514	2.700	2.330
500	2.513	2.700	2.320
1000	2.514	2.700	2.330

3.2.4 探测器与 X 光机焦斑距离对半值层测量的影响

探测距离对半值层测量影响也很小, A 型号相对标准偏差为 0.3%, B 型号为 0.0%, C 型号为 0.4%, 结果如表 6 所示。

表 6 探测器与焦斑距离对半值层测量的影响
Tab.6 Influence of distance between the detector and the focal spot

距离/mm	实测半值层/mmAl		
	型号A	型号B	型号C
900	2.500	2.700	2.292
950	2.508	2.700	2.284
1000	2.508	2.700	2.303
1050	2.514	2.700	2.293
1100	2.520	2.700	2.283

3.2.5 夹角对半值层测量的影响

为了了解半值层仪在辐射场中发生偏转时对测量结果是否有影响, 采用了在一定范围内逐步偏转半值层仪底座的条件下, 测量相应半值层数值的试验方法, 表 7 为测量结果, 试验表明半值层仪偏转对测量结果影响较大。因此在测量半值层时应当尽量避免半值层仪发生偏转, 以确保半值层测量结果的准确性。

表 7 夹角对半值层测量的影响
Tab.7 The effect of the angle

偏离角度/°	实测半值层/mmAl		
	型号A	型号B	型号C
30	2.022	2.400	2.208
20	2.430	2.500	1.706
10	2.460	2.600	2.303
0	2.508	2.700	2.267
-10	2.481	2.700	1.537
-20	2.390	2.700	2.799
-30	2.322	2.600	2.208

4 结论

测量结果显示管电压对辐射质的影响是显著的, 且每间隔 5 kV, 半值层的变化可达到 0.1 ~ 0.3 mmAl, 因此我们在日常检测过程中, 应当关注管电压的偏差对半值层测量结果的影响, 比如规定管电压的偏差不应超过设定值的 2% 或者先对管电压进行测量, 以确保半值层测量结果的准确无误。

曝光时间对半值层测量的影响主要表现为低曝光时间条件下实测误差偏大, 选择 100 ~ 1000 ms 范围内进行测试, 半值层测量的结果会比较理想。

测量角度对半值层测量的影响较大, 实测半值层的偏差会达到 0.4 mmAl, 因此日常检测应当尽量使得焦斑-附加过滤-探测器处于准直状态。

管电流以及测量距离对半值层测量结果的影响很小, 可以忽略。

本文通过对诊断 X 射线半值层进行测量, 分析了不同因素对半值层测量结果的影响, 供同行们交流参考。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 医用诊断 X 射线辐射源检定规程 JJG 744[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [2] 国家食品药品监督管理局. 医用诊断 X 射线设备 测定特性用辐射条件 YY/T 0481[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [3] 葛双, 吴金杰, 郭彬, 等. (20-300)kV X 射线参考辐射装置的建立 [J]. 核电子学与探测技术, 2016, 36(1): 68-72.
- [4] 邹建新, 王鹏德, 李小双, 等. 医用诊断 X 射线半价层的测量 [J]. 上海计量测试, 2020(2): 17-20.
- [5] 成建波. ¹³⁷Cs-γ 辐照器辐射场特性研究 [C]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [6] 李兵, 吴金杰, 方方, 等. 医用诊断 X 射线半值层和同质系数的研究与测量 [J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(8): 946-952.
- [7] F. H. 阿蒂克斯, W. C. 罗奇. 辐射剂量学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1981: 96-158.