

诊断 X 射线标准辐射质量的测量 与附加过滤的确定

田 晓, 王家伟*

(安徽省计量科学研究院, 合肥 230000)

摘要: **目的** 为建立诊断水平 X 射线计量标准, 测量获得 RQR 系列标准辐射质量, 以实现诊断 X 射线设备辐射剂量的量传与溯源, 确保医学诊断的安全有效以及量值测定的准确可靠。 **方法** 本文采用医用诊断光机作为 X 射线辐照装置, 搭建了辐射测量系统, 研究设计并加工了半值层试验器件用于空气比释动能的测量。利用计算机编程的方法, 绘制空气比释动能随过滤片厚度衰减变化的曲线, 最终得到与 RQR 标准辐射质量相一致的附加过滤厚度条件。 **结果** 建立的 9 个辐射质, 当辐射束中放置和不放置半值层试验器件时测得的空气比释动能比值均处于 0.485~0.515, 同质系数与规范推荐值之差在 ± 0.03 以内。 **结论** 基于计算机编程, 高效完成测量结果的插值拟合, 成功建立与 YY/T 0481—2016 规范条件相一致的 RQR 系列辐射质, 为建立诊断水平 X 射线计量标准奠定基础。

关键词: 诊断水平 X 射线; 参考辐射场; 附加过滤 RQR 标准辐射质量; 插值拟合

0 引言

为了确保医学诊断与治疗的安全有效和量值测定的准确可靠, 需要建立诊断水平 X 射线空气比释动能计量标准, 该计量标准向上可以直接溯源到国家空气比释动能基准, 向下可以用于确保各类质控仪表和医用诊断 X 射线设备量值传递的准确性。在建立诊断水平 X 射线空气比释动能计量标准的过程中, 需要根据 JJF 1621—2017《诊断水平剂量计校准规范》等相关标准和规范的要求, 建立诊断水平 X 射线参考辐射场, 调整并获得 RQR 系列标准辐射质量^[1-5]。本文通过测量参考辐射场校准点的空气比释动能, 绘制空气比释动能随衰减片厚度变化的衰减曲线, 成功建立了确定附加过滤和半值层的方法。测量获得的 RQR 系列标准辐射质量, 可用于建立诊断水平 X 射线计量标准, 以实现诊断 X 射线设备辐射剂量的量传与溯源, 确保医学诊断的安全有效以及量值测定的准确可靠。

1 材料与方法

常见的凑半值层和推框法都是确定附加过滤的有效方法, YY/T 0481—2016《医用诊断 X 射线设备测定特性用

辐射条件》中给出了推框法确定附加过滤的大致过程, 其过程可以简要描述如下^[6]。

首先确定一个管电压设定值, 例如 RQR5, 设定为 70 kV; 然后选取一套铝衰减片, 例如厚度依次为 0.5、1、2、4、8、16、32 mm, 也可自行确定衰减层厚度, 厚度增加幅度不超过 0.5 mm, 厚度误差不超过 ± 0.01 mm; 再加入铝衰减片, 使用电离室测量空气比释动能, 绘制衰减曲线, 衰减片厚度的线性坐标为横坐标, 有、无衰减片时测得的空气比释动能比值 K/K_0 为纵坐标; 准备一个透明的矩形模板, 宽度为 $HVL(1+1/h)$, 模板中间绘制一条纵向的辅助线, 刚好距离模板左边缘一个 HVL 的宽度。左边缘、辅助线以及右边缘与衰减曲线的交点对应的纵坐标刚好满足 1/2 和 1/4 的衰减关系; 最后, 矩形模板的左边缘对应的横坐标即为该管电压下附加过滤的厚度数值, 以此类推得到其他辐射质量的附加过滤值。现如今计算机编程技术已经十分成熟, 依据上述确定附加过滤的思路和方法, 使用 Python 编程可以高效地完成这项工作^[7-10]。

一般来说, 函数拟合问题通常分为两大类: 插值问题和逼近问题。已知离散的数据点集合, 构建或者寻找一个

第一作者: 田晓, 工程师, 研究方向为衡器化学。

* 通信作者: 王家伟, 工程师, 研究方向为电离辐射计量。E-mail: 18326695680@163.com

新的数据点集合的问题属于插值问题。Python 拥有庞大的标准库, Numpy 中提供了多项式拟合的工具包, Scipy 中提供了样条插值的工具包。其中, Numpy 多项式拟合工具包使用的是最小二乘多项式拟合函数, 适合解决一些简单的逼近问题, 得到的拟合函数可以不经过数据点。Scipy 的样条插值函数可以设定参数为 2 阶 (quadratic) 和 3 阶 (cubic), 对函数分段进行拟合, 得到的拟合曲线更加平滑。更高阶的样条插值过于复杂, 而且通常 2 阶和 3 阶拟合的结果差异并不大。选择更平滑的 3 阶样条插值函数对离散数据进行拟合, 并要求拟合函数的曲线经过实测的数据点, 更加贴近实际情况。利用这些强大的科学计算工具包和绘图工具包, 使用插值拟合的方法对测量结果进行拟合, 得到衰减曲线, 并将推框法中的坐标条件带入插值函数进行计算即可立刻返回需要的附加过滤的数值^[11-12]。

采用万睿视公司生产的 RAD-14 诊断光机, 用于产生诊断 X 射线。使用千分尺精确测量各衰减片组合的厚度数据 (精确到 0.001 mm), 选择 6 个以上的衰减片厚度组合, 以保证衰减曲线的拟合精度。衰减片组合固定在半值层试验器件中 (图 1) 使用辐射测量系统测量 X 射线穿过衰减片组合, 到达参考平面的空气比释动能数值。

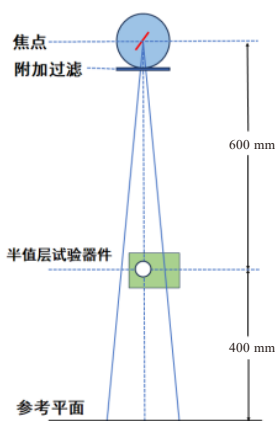


图 1 测量布置

设计半值层试验器件, 主要由底座、可伸缩连杆以及

衰减片固定器组成。可伸缩连杆使用弹簧组件给固定器提供固定用力, 固定器中心开圆孔, 直径为 68 mm, 两侧开孔中心在同一轴线上。整个半值层试验器件尽量使用低原子序数的材料制作 (例如胶合板), 避免产生多余的散射线, 半值层试验器件以及铝衰减片如图 2 所示。

辐射剂量测量系统的组成主要包括微电流测量部分 (静电计) 和探测器部分 (电离室)。静电计和电离室采用 PTW 公司生产的 UNIDOS Romeo 标准型参考级静电计和 SFD 无影电离室。X 射线穿过平板电离室的空腔, 使得灵敏体积内空气发生电离, 平板电离室收集电离电荷, 并经过静电计进行信号放大, 最终得到测量点的空气比释动能测量结果。辐射测量系统如图 3 所示。



图 2 半值层试验器件



图 3 辐射测量系统

2 结果与分析

采用插值拟合法, 按表 1~2 列出的条件设定光机曝光参数, 使用搭建好的辐射剂量测量系统测量参考平面 (1 m) 处空气比释动能数值, 从而得到 9 个辐射质条件下的测量结果。

将依次测量得到的衰减片厚度数据和空气比释动能数据传给 Python 代码中的自定义的函数 `def(h1, x, y, total)`, 运行 Python 文件 `HVL.py`, 得到拟合曲线如图 4 和图 5 所示。

表 1 空气比释动能测量结果 (RQR2~RQR5)

辐射质		测量结果								
40 kV, 400 mA, 200 ms	RQR2 Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	5.887	7.847	9.820	
	空气比释动能 /mGy	1.898	1.443	1.101	0.687	0.328	0.180	0.108	0.071	
50 kV, 400 mA, 200 ms	RQR3 Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	5.887	7.847	9.820	
	空气比释动能 /mGy	3.248	2.578	2.070	1.421	0.786	0.488	0.325	0.228	
60 kV, 400 mA, 200 ms	RQR4 Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	5.887	7.847	9.820	
	空气比释动能 /mGy	4.674	3.828	3.159	2.275	1.384	0.923	0.653	0.483	
70 kV, 400 mA, 200 ms	RQR5 Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	5.887	7.847	9.820	
	空气比释动能 /mGy	5.827	5.087	4.308	3.216	2.068	1.457	1.074	0.821	

表 2 空气比释动能测量结果(RQR6~RQR10)

辐射质		测量结果								
RQR6 80 kV, 200 mA, 200 ms	Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	7.847	11.785	15.726	
	空气比释动能 /mGy	3.896	3.293	2.816	2.158	1.450	0.799	0.506	0.345	
RQR7 90 kV, 200 mA, 200 ms	Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	7.847	11.785	15.726	
	空气比释动能 /mGy	4.712	4.044	3.501	2.744	1.910	1.118	0.735	0.516	
RQR8 100 kV, 200 mA, 200 ms	Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	7.847	11.785	15.726	
	空气比释动能 /mGy	5.459	4.803	4.221	3.374	2.415	1.480	1.003	0.720	
RQR9 120 kV, 200 mA, 200 ms	Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	7.847	11.785	15.726	
	空气比释动能 /mGy	6.045	5.934	5.599	4.733	3.555	2.314	1.651	1.230	
RQR10 150 kV, 100 mA, 200 ms	Al 衰减片厚度 /mm	0.000	0.458	0.946	1.958	3.919	7.847	11.785	15.726	
	空气比释动能 /mGy	5.179	4.690	4.266	3.628	2.840	1.968	1.463	1.123	

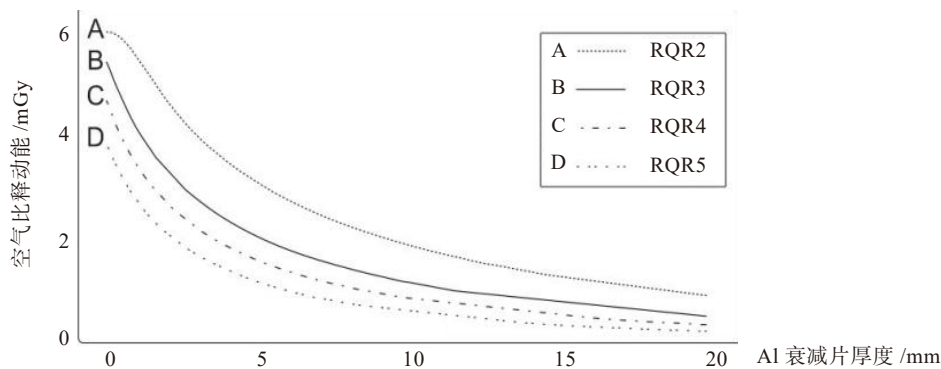


图 4 插值拟合曲线(RQR2~RQR5)

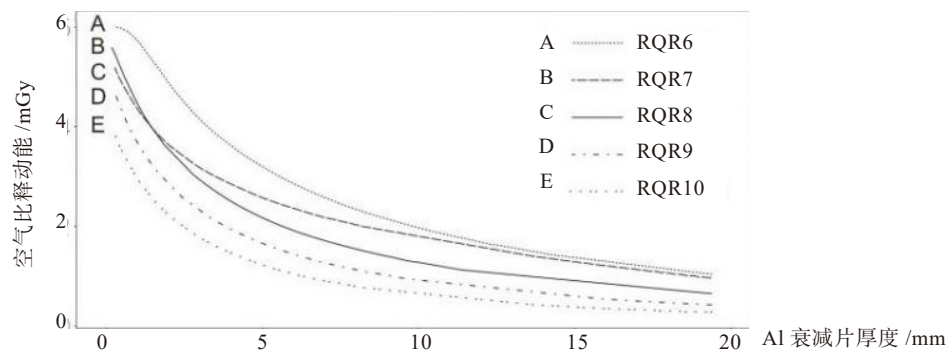


图 5 插值拟合曲线(RQR6~RQR10)

在自定义函数 $\text{def}(h_1, x, y, \text{total})$ 中, h_1 为各辐射质对应的第一半值层厚度(mm), 横坐标 $x(\text{mm})$ 为附加过滤厚度, 纵坐标 $y(\text{mGy})$ 为空气比释动能测量结果, 参数 $\text{total}(\text{mm})$ 为厚度上限。通过限定放置和不放置半值层试验器件的测量条件, 测得参考平面处的空气比释动能比值, 要求该比值需要在 0.485~0.515。计算机程序根据限定条件, 计算返回满足要求的附加过滤厚度数值和同质系数, RQR2~RQR10 系列辐射质插值拟合计算结果汇总见

表 3。

加入上述确定厚度的附加过滤, 使用半值层试验器件对得到的辐射质量进行验证。当辐射束中放置和不放置半值层试验器件测得的空气比释动能率比值在 0.485~0.515, 就得到了正确的标准辐射质量。如果比值小于 0.485, 则增大附加过滤, 如果大于 0.515 则减小附加过滤。辐射质经调整和验证后, 比值均符合要求, 结果汇总后参见表 4。

表 3 附加过滤拟合计算结果

辐射质	附加过滤厚度 /mm	第一半值层 /mm	同质系数实测值	同质系数推荐值
RQR2	0.37	1.42	0.81	0.81
RQR3	0.24	1.78	0.76	0.76
RQR4	0.45	2.19	0.72	0.74
RQR5	0.49	2.58	0.69	0.71
RQR6	0.77	3.01	0.68	0.69
RQR7	0.90	3.48	0.66	0.68
RQR8	1.02	3.97	0.65	0.68
RQR9	0.31	5.00	0.65	0.68
RQR10	1.20	6.57	0.69	0.72

表 4 附加过滤的结果验证

辐射质	附加过滤厚度 /mm	比值	同质系数 h
RQR2	0.37	0.491	0.81
RQR3	0.24	0.490	0.76
RQR4	0.45	0.491	0.72
RQR5	0.49	0.494	0.69
RQR6	0.77	0.503	0.68
RQR7	0.90	0.502	0.66
RQR8	1.02	0.503	0.65
RQR9	0.31	0.496	0.65
RQR10	1.20	0.495	0.69

3 讨论与结论

本文在推框法的基础上, 基于绘制衰减曲线的方法原理, 采用计算机编程的方法替代传统的人为计算绘图的方式, 大幅提高了数据处理和计算的效率, 同时降低了人为因素引入的误差。经实验测量和验证, 建立的 RQR2~RQR10 共计 9 个辐射质, 当辐射束中放置和不放置半值层试验器件时测得的空气比释动能比值均处于 0.485~0.515 之间, 同质系数与规范推荐值之差在 ± 0.03 以内。成功建立了与规范推荐条件相一致的 RQR 系列参考辐射质量。日常实践中, 采用单一材料衰减片(例如铜片、铝片等)来建立系列辐射质量, 并采用本文建立的插值拟合法是合适的。由于 X 射线在不同材料中的衰减系数

有较大差异, 对于使用不同材料组合来构建系列辐射质量的情况, 还需要开展进一步研究。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 诊断水平剂量计校准规范: JJF 1621—2017[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2017.
- [2] ISO. 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: 1996 [S]. Switzerland: ISO, 1996.
- [3] ISO. 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 [S]. Switzerland: ISO, 2019.
- [4] IEC: Medical diagnostic X-ray equipment-Radiation conditions for use in the determination of characteristics: IEC 61267: 2005 [S]. Switzerland: IEC, 2005.
- [5] 国家质量技术监督局. 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: GB/T 12162. 1—2000 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [6] 国家食品药品监督管理总局. 医用诊断 X 射线设备测定特性用辐射条件: YY/T 0481—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 廖振宇. 诊断 X 射线参考辐射场的测量与研究 [D]. 衡阳: 南华大学核科学技术学院, 2019, (3): 58-61.
- [8] 葛双. (20-300)kVX 射线参考辐射场的建立和研究 [D]. 衡阳: 南华大学, 2016, (8): 123-126.
- [9] 杨勇, 张园月, 刘志宏, 等. 医用诊断 X 射线剂量探测技术概述 [J]. 中国测试技术, 2005, 31(4): 94-96.
- [10] 吴金杰, 郭彬, 李兵, 等. 介入法测量工业 X 射线光机管电压的研究 [J]. 计量学报, 2015, (5): 550-554.
- [11] 李兵, 吴金杰, 方方, 等. 医用诊断 X 射线束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, (8): 946-952.
- [12] 袁杰, 白雪. 诊断水平 X 参考辐射质的建立 [J]. 上海计量测试, 2023, (4): 12-13.