

JJF (京)

中华人民共和国地方计量技术规范

JJF(京)56-2018

数字化 X 线摄影设备量子检测效率校准
规范

Calibration Specification for Detective Quantum Efficient of
Digital Radiography

2018—03—09 发布

2018—04—09 实施

北京市质量技术监督局 发布

数字化X线摄影设备量子检

测效率校准规范

Calibration Specification for Detective

JJF(京)56-2018

Radiography

归口单位：北京市质量技术监督局

起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规范由北京市质量技术监督局负责解释

本规范主要起草人：

鲁向 （北京市计量检测科学研究院）

赵贵坤 （北京市计量检测科学研究院）

罗琛 （北京市计量检测科学研究院）

王焕宁 （北京市计量检测科学研究院）

本规范参加起草人：

范耀东 （北京市计量检测科学研究院）

目 录

引言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 计量术语	1
3.1 转换函数 conversion function.....	1
3.2 量子探测效率 detective quantum efficiency.....	1
3.3 探测器表面 detector surface.....	2
3.4 图像矩阵 image matrix.....	2
3.5 线性化数据 linearized data.....	2
3.6 调制传递函数 modulation transfer function	2
3.7 噪声 noise.....	2
3.8 噪声功率谱 noise power spectrum.....	2
3.9 原始数据 original data	2
3.10 未处理数据 raw data.....	2
3.11 空间频率 spatial frequency.....	3
4 概述	3
5 计量特性	3
5.1 辐射质	3
5.2 转换函数	3
5.3 调制传递函数	4
5.4 噪声功率谱	4
5.5 量子检测效率	4
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 标准器及其他设备	4
6.2.1 剂量计	4
6.2.2 调制传递函数试验器件	4

6.2.3 铝块	5
6.3 操作条件	5
6.4 几何位置	5
7 校准项目和校准方法	7
7.1 校准项目	7
7.2 校准方法	8
7.2.1 量子检测效率的公式	8
7.2.2 辐射质	8
7.2.3 转换函数	9
7.2.3.1 空气比释动能率的测定	9
7.2.3.2 转换函数辐照条件	10
7.2.3.3 转换函数计算方法	10
7.2.4 调制传递函数	10
7.2.4.1 调制传递函数辐照条件	10
7.2.4.2 调制传递函数计算方法	11
7.2.5 噪声功率谱	14
7.2.5.1 噪声功率谱辐照条件	14
7.2.5.2 噪声功率谱的计算	14
7.2.5.3 一维噪声功率谱的计算	15
7.2.6 量子检测效率	16
8 校准结果表达	16
9 复校时间间隔	17
附录 A 数字化 X 线摄影设备量子检测效率剂量示值不确定度分析	18
附录 B 校准原始记录格式	20
附录 C 校准证书内页格式 (第 2 页)	25

引 言

本规范依据国家计量技术规范 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》编制。
本规范是首次制定的地方计量技术规范。

数字化 X 线摄影系统量子检测效率

1 范围

本规范适用于新生产、使用中、修理后的数字化 X 线摄影系统量子检测效率的现场校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

YY/T 0063（IEC 60336，IDT） 医用电器设备 医用诊断 X 射线管组件 焦点特性

YY/T 0481-2016（IEC 61267:2005，IDT） 医用诊断 X 射线设备 测定特性用辐射条件

YY/T 0590.1-2005 数字 X 射线成像装置特性 第 1 部分:量子探测效率的测定

WS 521—2017 医用数字 X 射线摄影（DR）系统质量控制检测规范

IEC TR 60788:2004 医用电气设备-术语定义汇编

IEC 62220-1:2015，医用电子设备 - 数字化 X 线成像设备特性 - 第 1 部分量子检测效率的测定（Medical electrical equipment - Characteristics of digital X-ray imaging devices-Part 1:Determination of the detective quantum efficiency

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 计量术语

3.1 转换函数 conversion function

数字化 X 线摄影系统的大面积输出值（原始数据）与探测器表面所在平面的单位面积曝光量子数的对应曲线。

3.2 量子探测效率 detective quantum efficiency

$$\text{DQE}(\mu, \nu) = \frac{S_{out}(\mu, \nu)^2}{S_{in}(\mu, \nu)^2} \quad (1)$$

式中:

$DQE(\mu, \nu)$ —— 量子检测效率关于空间采样频率 μ 和 ν 的函数;

μ —— X 方向的空间采样频率;

ν —— Y 方向的空间采样频率;

$S_{out}(\mu, \nu)$ —— 数字化 X 线摄影系统探测器输出信号的噪声功率谱;

$S_{in}(\mu, \nu)$ —— 数字化 X 线摄影系统探测器表面输入信号的噪声功率谱。

量子检测效率是两个噪声功率谱函数的比值, 分子为数字化 X 线摄影系统探测器表面输入信号经过系统调制传递函数给定的确定性的滤波后的噪声功率谱, 分母为探测器输出信号(原始数据)测得的噪声功率谱。

3.3 探测器表面 detector surface

X 线光子可到达不能拆卸的最接近影像接收器平面的区域。

3.4 图像矩阵 image matrix

优先按直角坐标系排列用于生成图像的矩阵元素。

3.5 线性化数据 linearized data

实施了转换函数逆变换的原始数据。

3.6 调制传递函数 modulation transfer function

一种复数的光学传递函数的模, 表示为空间频率 μ 和 ν 的函数

3.7 噪声 noise

偏离随机过程期望值的波动。

3.8 噪声功率谱 noise power spectrum

噪声自协方差函数傅立叶变换的模。

3.9 原始数据 original data

只实施了均匀性与空间几何位置的校准后的未处理数据。

3.10 未处理数据 raw data

直接从数字 X 射线成像装置中读出的模数转换后像素值，或者是从光子计数系统得到的计数，这些数据不得以弥补探测器或者 X 射线射线系统的局限性为目的进行任何修改。

3.11 空间频率 spatial frequency

重复的空间间隔的倒数。空间频率的量纲是长度的倒数。

4 概述

量子检测效率(detective quantum efficiency, DQE)是用来描述数字化 X 线摄影系统对 X 量子探测效率,反映了在某一线质条件下,一定剂量的 X 线所产生的光子经过数字 X 线摄影系统所形成图像信息之间比例关系。

5 计量特性

5.1 辐射质

量子检测效率的校准应在一定的辐射质下进行,辐射质应该是表 1 规定的 4 种辐射质中的一个或者多个。如果只选择一个辐射质,宜优先使用辐射质 RQA5。

表 1 量子检测效率所需的辐射质

辐射质序号	推荐球管电压 (KV)	附加过滤 (mmAL)	半价层 (mmAL)
RQA3	50	10	3.8
RQA5	70	21	6.8
RQA7	90	30	9.2
RQA9	120	40	11.6

5.2 转换函数

数字化 X 线摄影系统的大面积输出值（原始数据）与探测器表面所在平面的单位面积曝光量子数的对应曲线。线性化数据通过对原始数据中逐个像素应用转换函数逆变换计算出来。转换函数是输出的原始数据对输入的单位面积接受的曝光量子数的函数，线性化数据的单位为单位面积接受的曝光量子数。

实验数据点应按模拟函数拟合，如果假定转换函数是线性的，应只拟合出一个线性函数。所拟合的结果应满足线性相关系数 R 的平方应大于 0.99。

5.3 调制传递函数

调制传递函数代表数字化 X 线摄影系统对入射 X 射线响应的系统函数，对数字化 X 线摄影系统的空间分辨率反映的客观指标。选择合适的剂量条件进行校准，校准时应至少提供 0.5mm^{-1} 、 1.0mm^{-1} 、 1.5mm^{-1} 和 2.0mm^{-1} 沿 X 方向和 Y 方向的调制传递函数值。

5.4 噪声功率谱

噪声功率谱反映了平板探测器随机噪声水平。选择与测量调制传递函数的相同剂量条件进行校准，校准时应至少提供 0.5mm^{-1} 、 1.0mm^{-1} 、 1.5mm^{-1} 和 2.0mm^{-1} 沿 X 方向和 Y 方向的噪声功率谱值。

5.5 量子检测效率

校准时应至少提供 0.5mm^{-1} 、 1.0mm^{-1} 、 1.5mm^{-1} 和 2.0mm^{-1} 沿 X 方向和 Y 方向的量子检测效率值。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：

气压：

相对湿度：

$18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$

$98.0\text{kPa}\sim 104.0\text{kPa}$

$30\%\sim 85\%$

6.2 标准器及其他设备

6.2.1 剂量计

作为标准器的剂量计应经过国家计量部门的量值溯源，其年稳定性应满足 $\pm 2\%$ 以内。

6.2.2 调制传递函数试验器件

用于测定调制传递函数的试验器件应由一个 1.0mm 厚、至少 100mm 长以及至少 75mm 宽的钨板(纯度应高于 90%)组成(见图 1)。如果钨板的纯度达不到要求，那么需要增加厚

度来补偿。

钨板被用作调制传递函数试验器件。所以，用于试验照射的边沿应仔细抛光且与板面成 90° 。如果不使用增感屏直接把此边缘在胶片上曝光，胶片上图像边缘的起伏变化应小于 $5\ \mu\text{m}$ 。

钨板应固定在一个 3mm 厚的铅板上（见图 1），板尺寸： $a:200\text{mm}$, $b:100\text{mm}$, $c:90\text{mm}$, $d:70\text{mm}$, $g:3\text{mm}$ 。钨板尺寸： $e:100\text{mm}$, $f:75\text{mm}$, $h:1\text{mm}$ 。这种排布适合于从一个方向上测量数字 X 射线成像装置的调制传递函数。

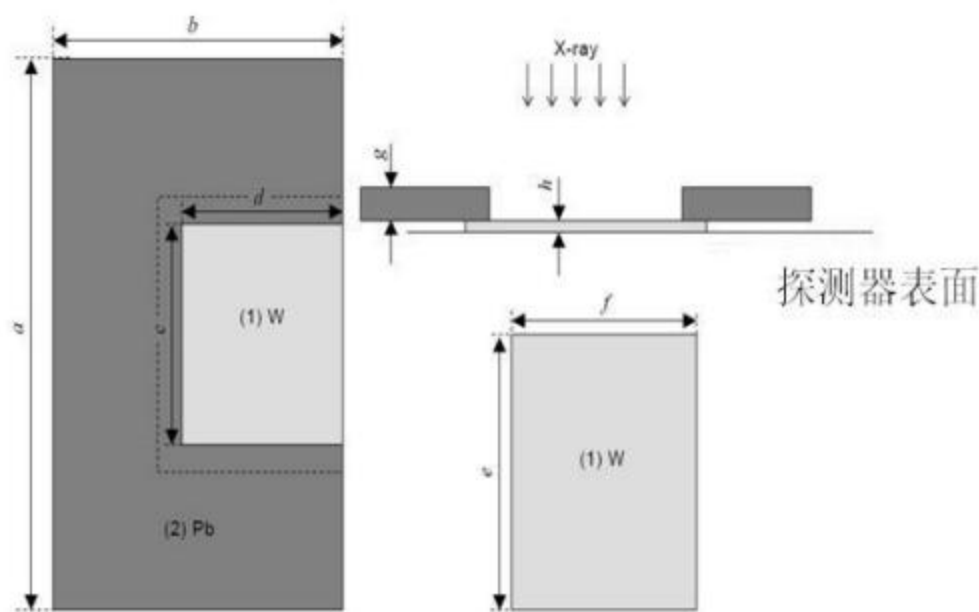


图 1 测量调制传递函数和滞后效应大小的试验器件

6.2.3 铝块

本规范所使用的铝块纯度应不低于 99.99%。

6.3 操作条件

数字化 X 线摄影系统应在制造商推荐的临床使用条件下操作。操作条件不能完全满足时应与临床使用时的条件接近,并在指定的检测评估过程中保持稳定。

6.4 几何位置

测量布局的几何位置应与图 2 相符。在该几何位置上的使用方法与在正常诊断应用时相同。X 线管焦点与探测器表面的距离宜不小于 1.5m。如果由于技术的原因,这个距离无法达到 1.5m 或者更长,那么可以选择较短的距离。但是该距离必须在报告结果中予以明确声明。X 线中心射线方向的延长线与照射野中心垂直方向的虚拟延长线保持一致。

这意味着穿过入射野中心并垂直于入射平面的 X 线应与通过辐射源中心参考方向上的线对齐。试验器件直接放置在探测器表面。试验器件边缘的中心应与 X 射线束的照射野的中心保持一致，否则将会降低被测量的调制传递函数值。

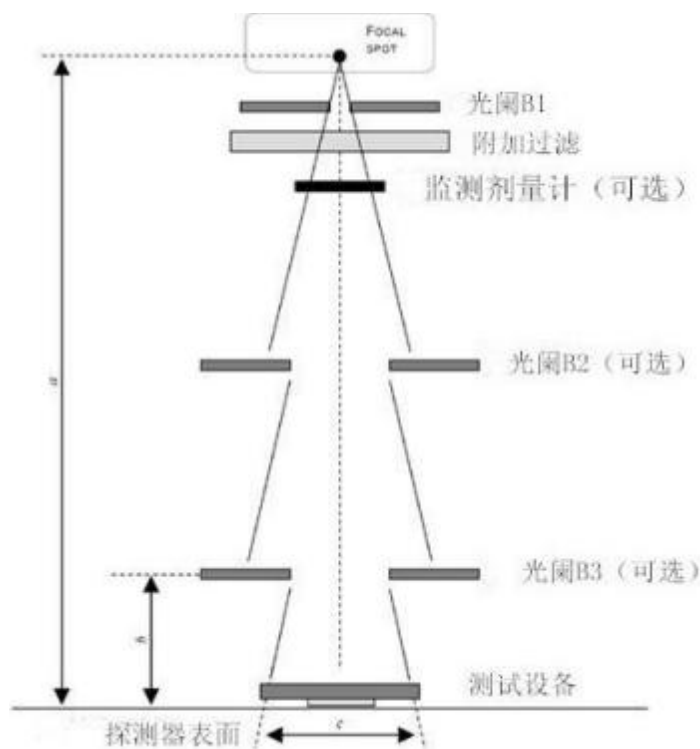


图 2 测量几何框架图

建议测量时把试验器件中心和 X 线辐射野中心都置于探测器中心，否则，应说明 X 射线辐射野中心与试验器件中心的位置。

在测量的布局中（见图 2），光阑 B1 和附加滤过应靠近 X 线管焦点。

附加滤过放置在尽可能接近束光器射线输出端口或光阑 B1 射线输出端。光阑 B2 和 B3 可用于减小附加滤过产生的散射辐射，散射辐射对计算调制传递函数有不利影响。光阑 B1 和 B2（如果使用）以及附加滤过三者应该和焦点的位置保持一个固定的位置关系。光阑 B3（如果使用）以及数字化 X 线摄影系统探测器表面也应该和焦点的位置保持一个固定的位置关系。光阑 B3（如果使用）需要最小照射野应不小于需求的最大照射野，且最小照射野可达到在数字化 X 线摄影系统探测器探测器表面 160mm × 160mm 视野。光阑 B2（如果使

用)的辐射窗应可调,当距离变化时,辐射束依然可保持严格准直。探测器表面的辐射区域应至少为 $160\text{mm} \times 160\text{mm}$ 。所有光阑应是方形的。光阑的衰减特性应该保证通过光阑的 X

射线不会影响测量结果。

推荐使用监测剂量计。如果监测剂量计的通透性很好,不会留下结构影像,其可放置在照射到数字化 X 线摄影系统探测器表面的辐射束中。如果监测剂量计的通透性不好,光阑 B1 的辐射窗应该足够大,以确保 X 射线半影区位于监测剂量计的敏感区以及光阑 B2(如果使用)的辐射窗之外。不使用光阑 B2 时,其应保证于监测剂量计位于通过光阑 B3 的辐射束之外。监测剂量计的准确度(标准方差 1)应优于 2%。监测剂量计的读数与数字化 X 线摄影系统探测器表面的空气比释动能之间的关系应根据所使用的 X 线质进行校准。另外,监测剂量计的校准可能对附加滤过的位置和装在 X 射线源中的限束光阑调整敏感。因此这些因素在监测剂量计的重新校准前不宜改变。

若不使用监测剂量计,光阑 B2 和光阑 B3 均可选用,直接使用剂量计放置在数字化 X 线摄影系统探测器表面测量获得空气比释动能值。

使用这种几何布局测量转换函数和噪声功率谱,需移走测试器件直接照射探测器表面。测量调制传递函数时照射处于测试器件之后的数字化 X 线摄影系统探测器表面。

对于所有测量应照射探测器表面相同区域。应记录该区域中心相对于探测器的中心或其边缘位置。

在同一辐射质下的所有测量都应使用相同的几何布局。X 射线发生器低的空气比释动能输出的量达不到要求,尤其对于 RQA9 来说。这种情况下推荐增加焦点与探测器表面之间的距离。为符合上述规定的要求,在测量前首先要确定正确的焦点到探测器距离

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	辐射质	5.1	7.2.2
2	转换函数	5.2	7.2.3

3	调制传递函数	5.3	7.2.4
4	噪声功率谱	5.4	7.2.5
5	量子检测效率	5.5	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 量子检测效率的公式

依赖空间频率的量子检测效率 $DQE(\mu, V)$ 的公式是:

$$DQE(\mu, V) = \frac{s_{out}(\mu, V)^2}{s_{in}(\mu, V)^2} = G^2 MTF(\mu, V)^2 \frac{s_{in}(\mu, V)}{w_{out}(\mu, V)} \quad (2)$$

式中:

$MTF(\mu, V)$ ——数字化 X 线摄影系统的预采样的调制传递函数;

G ——数字化 X 线摄影系统为空间频率零时的增益 G ;

$w_{out}(\mu, V)$ ——数字化 X 线摄影系统探测器输出图像的噪声功率谱;

噪声功率谱 $w_{out}(\mu, V)$ 和调制传递函数 $MTF(\mu, V)$ 应用线性化数据进行计算。应用原始数据的转换函数逆变换计算得到线性化数据(见 6.3.1), 并表示成单位面积上的光子数。

式(2)中空间频率为零时的增益 G 也是转换函数的一部分, 不需要另外测量。因此计算依赖空间频率的量子探测效率 $DQE(\mu, V)$ 的计算公式如式(3):

$$DQE(\mu, V) = MTF(\mu, V)^2 \frac{s_{in}(\mu, V)}{w_{out}(\mu, V)} \quad (3)$$

7.2.2 辐射质

测量量子检测效率时, 输入的噪声功率谱 $s_{in}(\mu, V)$ 是一个和辐射质密切相关的量, 可由式(4)计算:

$$s_{in}(\mu, V) = k_a \times sNR_{in}^2 \quad (4)$$

式中:

k_a ——测量到的空气比释动能, 单位 微戈瑞, μGy ;

sNR_{in}^2 ——单位空气比释动能信噪比的平方, 单位毫米平方微戈瑞分之一, $1/(mm^2 \cdot$

$\mu Gy)$, 具体参数见表 3 中的第 2 列。

表 3 本规范规定的线质所指定使用的参数

辐射质 No.	sNR_{in}^2 $1/(mm^2 \cdot \mu Gy)$
RQA3	20673
RQA5	29653
RQA7	32490
RQA9	31007

测量量子检测效率时采用的辐射质是本校准规范规定的 4 种辐射质中的一个或者多个(见表 1)。如果只选择一个辐射质,宜优先使用辐射质 RQA5。

本校准规范规定辐射质应通过如下的方法来建立:根据表 1 定义的线质条件设定一个固定的 X 射线管电压(从表 1 中给出的值开始),并使用表 1 中规定的附加过滤,逐步调整 X 射线管电压,直到到达最接近正确的半价层。

7.2.3 转换函数

7.2.3.1 空气比释动能率的测定

若使用监测剂量计,该数字化 X 线摄影系统探测器表面位置的剂量计读数与监测剂量计 R1 的读数之间的关系 $f(d)$ (见式 5),需要记录下来,在测量转换函数和噪声功率谱时,应使用该关系计算探测器表面的辐射量。建议实际测量时每个点至少曝光 5 次,计算平均值以减少测量误差。为减少反向散射的影响,可以在剂量计后 450mm 的位置放置一块厚度 4mm 的铅屏蔽。为了避免数字化 X 线摄影系统成像装置来反向散射的影响,测试时应把成像装置从辐射束中移开,如果无法移开,可以在焦点到探测器之间选几个不同位置进行测量,可用距离平方反比定律来计算探测器表面的入射剂量。为避免来自成像装置表面的反向散射,建议辐射探测器距离探测器表面距离不小于 450mm。

$$f(d) = \sqrt{\frac{R_m}{R_t}} \quad (5)$$

式中:

d ---为数字化 X 线摄影系统探测器表面位置的剂量计与监测剂量计 R1 之间的距离;

R_t ---为监测剂量计 R1 读数;

R_m ---为探测器表面剂量计读数;

若不使用监测剂量计,直接使用剂量计放置在数字化 X 线摄影系统探测器表面位置测量空气比释动能。建议实际测量时每个点至少曝光 5 次,计算平均值以减少测量误差。为减少反向散射的影响,可以在剂量计后 450mm 的位置放置一块厚度 4mm 的铅屏蔽。为了避免数字化 X 线摄影系统成像装置来反向散射的影响,测试时应把成像装置从辐射束中移开。

如果无法移开，可以在焦点到探测器之间选几个不同位置进行测量，可用距离平方反比定律来计算探测器表面的入射剂量。为避免来自成像装置表面的反向散射，建议辐射探测器

距离探测器表面距离不小于 450mm。

7.2.3.2 转换函数辐照条件

数字化 X 线摄影系统的所有设置应与对试验器件进行曝光时的设置相同，按照图 2 所示的几何布局进行，但在辐射束中无试验器件，管电压设置成按照 7.2.2 所选取的辐射质时获得的管电压的值。

根据制造商提供的数字化 X 线摄影系统平板探测器工作的剂量范围，均匀地划分 5 次曝光点采集剂量和该剂量对应的图像。

7.2.3.3 转换函数计算方法

线性化数据通过对原始数据中逐个像素应用转换函数逆变换计算出来。转换函数是输出的原始数据对输入的单位面积接受的曝光量子数的函数，线性化数据的单位为单位面积接受的曝光量子数。

转换函数是由按 7.2.3.2 规定产生的图像测定的。

输出数据的计算应取辐射野中心 100×100 像素矩形区域内像素值进行平均。每个像素值应该是原始数据，也就是未处理数据只经过第 5 章中所允许的校正。这个输出数据对应于输入信号所画的曲线就是转换函数，输入信号是单位面积上接受的曝光量子数，是通过入射空气比释动能乘以表 3 第 2 列所给数值计算出（见 7.2）。

实验数据点应按模拟函数拟合，如果假定转换函数是线性的，应只拟合出一个线性函数。所拟合的结果应满足以下要求：

最终的 $R^2 \geq 99\%$ (R^2 为相关系数)。

7.2.4 调制传递函数

7.2.4.1 调制传递函数辐照条件

辐照应按照图 2 所示的几何关系进行。如果系统的局限性，使附加滤过和 X 射线管的焦点间的距离不能足够小，可以允许使用光阑 B1 紧贴限束器限制辐射野范围是 $110\text{mm} \times 110\text{mm}$ （为了减低附加滤过的散射影响）。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/716242032040010110>