

前 言

YY/T 0457《医用电气设备 光电 X 射线影像增强器特性》分为七个部分：

- 第 1 部分：入射野的测定；
- 第 2 部分：转换系数的测定；
- 第 3 部分：亮度分布及亮度非均匀性的测定；
- 第 4 部分：影像失真的测定；
- 第 5 部分：探测量子效率的测定；
- 第 6 部分：对比度及炫光系数的测定；
- 第 7 部分：调制传递函数的测定。

本部分是 YY/T 0457 的第 7 部分，本部分与 IEC 61262-7:1995《医用电气设备——光电 X 射线影像增强器特性——第 7 部分：调制传递函数的测定》(英文版)的一致性程度为等同，主要差异如下：

- 按照汉语习惯对一些编排格式进行了修改；
- 将一些适用于国际标准的表述改为适用于我国标准的表述；
- 删除了国际标准前言；
- IEC 788 改为 IEC 60788；
- 原文中将编号 4.4 和 4.5 误写为 4.2 和 4.3 故改为 4.4 和 4.5。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 均为资料性附录。

本部分由国家药品监督管理局提出。

本部分由全国医用 X 射线设备及用具标准化分技术委员会归口。

本部分起草单位：西安航天恒星科技股份有限公司、辽宁省医疗器械产品质量监督检验所。

本部分主要起草人：邹元、牟莉。

引 言

成像系统经常采用主观的性能测量来进行评估,例如极限分辨率。在与成像系统预期使用日的相关的成像任务方面,这些方法不一定适当地描述系统的性能,而且这些方法容易受到不同观察者间差异的影响。

线性空不变成像系统可以根据其传递函数方便地加以分析。这种系统的信号传递可以由光学传递函数(OTF)明确表示出。OTF将系统对于正弦波的响应表示为系统空间频率的函数。调制传递函数(MTF),光学传递函数的模,足以描述X射线影像增强器的信号传递。在点扩展函数不随位置改变时的系统被称为空不变系统。需要注意的是X射线影像增强器仅仅在一个有限的区域,即等晕区之内,通常才是空不变的。

调制传递函数可以采用几种方法测定(见附录D的例1):

- 由方波响应;
- 由线扩展函数的傅里叶变换;
- 由点扩展函数的汉克尔变换;
- 借助空间滤光片扫描狭缝影像。

如果操作正确,那么以上任何一种方法均是可取的。为了简单起见,本部分只详述两种方法:

1. 线扩展函数的傅里叶变换法,即上述提到的LSF法。
2. 空间滤光片法。准确地测定调制传递函数需要专业的设备并且一般不适用于在现场安装情况下进行工作。

本部分仅规定了X射线影像增强器接近入射野中心的调制传递函数的测量方法。

医用电气设备

光电 X 射线影像增强器特性

第 7 部分:调制传递函数的测定

1 范围

YY/T 0457 的本部分适用于作为医用诊断 X 射线设备部件的光电 X 射线影像增强器。

本部分描述了测定 X 射线影像增强器调制传递函数的方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 YY/T 0457 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

YY/T 0063—2000 医用诊断 X 射线管组件 焦点特性(idt IEC 60336:1993)

YY/T 0457.4—2003 医用电气设备 光电 X 射线影像增强器特性 第 4 部分:影像失真的测定

IEC 60788:1984 医用放射学——术语

ISO 9334 光学及光学仪器——光学传递函数——定义与数学关系

3 术语

3.1 定义

考虑到本部分的目的,IEC 60788 中确定的以及下列术语和定义适用于本部分,当定义之间有歧义时,优先考虑本定义。

3.1.1

XRII

光电 X 射线影像增强器的英文缩写。

3.1.2

入射面 entrance plane

垂直于 XRII 的对称轴并且与 XRII 辐射源方向上最突出的部分(包括 XRII 的防护套壳)相切的平面。

3.1.3

入射野 entrance field

对于 XRII,在特定条件下入射面中能够用于 X 射线图形透射的区域。

3.1.4

入射野尺寸 entrance field size

对于 XRII,在规定的源面距(SED),入射面中能够用于 X 射线图形透射区域的直径。对于有不止一种放大模式的 XRII,每一种放大模式的入射野尺寸,对应的输出影像直径应与最大入射野尺寸时 XRII 的输出影像的直径相一致。

3.1.5

源面距 source to entrance plane distance(SED)

X射线管的焦点与XRII的入射面间的距离。

3.1.6

输出影像中心 **centre of the output image**

外接输出影像最小圆的中心。

3.1.7

入射野中心 **centre of the entrance field**

入射面上成像于输出影像中心的点。

3.1.8

中心轴 **central axis**

穿过入射野中心并垂直于入射面的直线。

3.1.9

中心放大率 **central magnification**

XRII的一个特性,在入射面上对称于中心轴放置的小物体的输出影像的长度与实际长度之比。

3.1.10

点扩展函数 **point spread function (PSF)**

点光源影像辐照度的归一化分布,见ISO 9334。

3.1.11

等晕区 **isoplanatic region**

在规定的准确度范围内,点扩展函数是常数的区域。

3.1.12

线性 **linearity**

成像系统的特性。在具有这种特性的成像系统中所有物体加权后的影像等于其各单独物体影像同样的加权和。

3.1.13

线性范围 **linear range**

输入信号的范围。在这个范围内成像系统在规定的准确度内呈现线性,见ISO 9334。

注:说明成像系统线性范围的输入信号范围应该用最大值和最小值说明。

3.1.14

光学传递函数 **optical transfer function(OTF)**

成像系统的点扩展函数的二维傅里叶变换,见ISO 9334。

注:为了使光学传递函数有意义,成像系统工作于线性范围内是基本要求,而且考虑等晕区。

3.1.15

一维光学传递函数 **one-dimensional optical transfer function(1-OTF)**

光学传递函数在给定方向上通过原点的截面。

3.1.16

线扩展函数 **line spread function (LSF)**

非相干线辐射源的影像辐照度的归一化分布。线扩展函数仅存在于等晕区以内,见ISO 9334。

注:线扩展函数的傅里叶变换是垂直于线光源方向的一维光学传递函数。

3.1.17

调制传递函数 **modulation transfer function(MTF)**

一维光学传递函数的模。

注:在ISO 9334中调制函数被定义为光学传递函数的模。考虑到本部分的目的,3.1.17的定义更为适合。

3.1.18

MTF 分析仪 MTF analyser

能够进行调制传递函数测量的仪器,包括光学系统和软件。

3.1.19

最佳聚焦 best focus

对给定的狭缝方向,使得 MTF 曲线下积分面积为最大的聚焦电压的设置。

注:聚焦电压设置值的选择是为了减弱模糊,可能会轻微地偏离 XRII 的实际使用中的设置值。

3.1.20

低频率跌落 low-frequency drop(LFD)

在 1(单位数)与接近零空间频率的调制传递函数的值之间的差值。

注:现今已知的 XRII,都显现明显的眩光。这显现为 MTF 曲线在稍高于零空间频率处的陡峭跌落。出于本部分的目的,选择空间频率为 0.1 mm^{-1} 的点测定 LFD。

3.1.21

光探测器 light detector

对可见辐射(光)敏感的辐射探测器。

3.2 要求的程度

本部分中的助动词:

——“应”(shall)表示服从某一项要求是必要的。

——“宜”(should)表示服从某一项要求是极力推荐的但并非强制性的。

——“可”(may)表示为了符合本部分,服从某一项要求是允许以特殊的方式去完成的。

以下词语具有的意义:

——“特定的”(specific)当与参数或条件一同使用时;指一个特殊的值或标准化布置,通常是指那些在 IEC 标准或法律中所要求的;见 IEC 60788,rm-74-01。

——“规定的”(specified)当与参数或条件一同使用时;通常在随机文件中指出的或所考虑目的下而选择的值或布置;见 IEC 60788,rm-74-02。

——“设计用于”(designed for)当在标准中用于描述设备、器件、零部件或布置特性时;指明产品预定的和通常明显的应用目的或用途。

4 要求

本部分中描述的 XRII 的调制传递函数的测定方法中涉及狭缝影像分析。在第一种方法中以一片(一维)空间滤光片扫描影像,从而直接得到调制传递函数。第二种方法,即 LSF 法,使用一台二维摄像机来得到线扩展函数,再由线扩展函数的傅里叶变换得出调制传递函数。测定时需要特殊的试验设置,包括一台 MTF 分析仪(见图 1)。

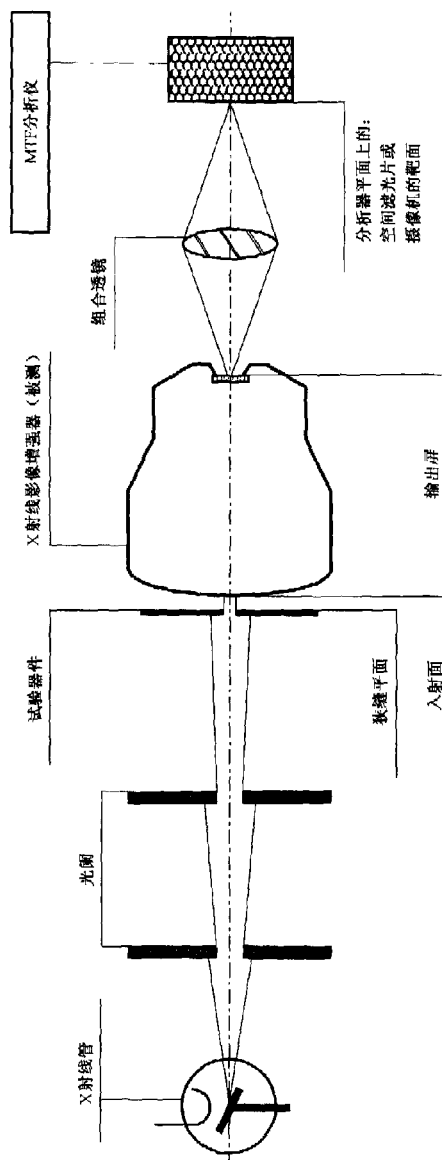


图 1 测量布局

4.1 试验设置

- SED 应为 $100\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$;
- X 射线管的焦点应位于中心轴上;
- c)、d)、e) 三者的组合对测量结果的影响应不超过综合测量精度(见 5.5);
- 磁和电的杂散场。在试验设置的构造中宜使用能有效屏蔽且非磁性的材料;
- 杂散光;
- 试验装置的机械不稳定性。振幅 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的振动便可以使测试结果变差。

4.2 X射线影像增强器——工作条件

- a) 除了XRII的聚焦电压以外, XRII应在制造商规定的正常使用条件下工作。聚焦电压应设定于使XRII中心能最佳聚焦的值上;
- b) 不应使用任何防散射滤线栅或防护罩;
- c) 对于多视野的XRII, 应对规定的最大入射野的情况进行测量, 对于其他入射野的情况进行测量则是可选择的;
- d) 施加在XRII电极上的电压的纹波系数应不超过0.1%;
- e) XRII应在其线性范围内工作。

4.3 输入辐射

- a) 应使用X射线管峰值电压为50 kV \pm 2 kV的, 且半价层为2.0 mm \pm 0.2 mm铝(纯度为99.9%)的条件下工作的辐射质量; 这与大约3 mm铝的总滤过相当。
- b) 焦点标称值, 依据YY/T 0063中的规定, 应不大于0.6。
- c) X射线强度的波动对测量结果的影响不宜超过2%。

4.4 试验器件

- a) 试验器件包括一个狭缝。该狭缝的宽度应小于或等于 $0.5 \times f_m^{-1}$, 其中 f_m 是要分析的最大空间频率值, 单位为 mm^{-1} 。
- b) 狭缝宽度在整个狭缝长度上的变化应不超过5%。
- c) 狭缝长应不超过等晕区的范围。通常实用的长度为10 mm。
- d) 在狭缝的投影区域外XRII接收到的X辐射线的能量应小于XRII接收到的总X辐射线能量的1%; 见附录B。

4.5 测量设备

- a) 为了能够正确地测定MTF的低频部分, 应使用MTF分析仪分析输出屏上的整个影像;
- b) 如果使用了一个以上的透镜或透镜组, 则至少其中一个透镜或透镜组应满足a)的要求;
注: 可以使用多个透镜以增加读数的数量或扩大MTF的频率范围。
- c) MTF分析仪应允许对狭缝影像进行旋转准直;
- d) MTF分析仪的输入器件应有线性响应。对于空间滤光片方法, 输入器件是一个光探测器, 例如一个光电倍增器。对于LSF方法, 输入器件是一台二维摄像机, 例如一台CCD摄像机;
- e) LSF法应能够测量覆盖六个数量级跨度的亮度范围。如果MTF分析仪的输入器件不能覆盖上述的动态范围, 则应分步进行测量。并且予以修正。如果暗电流存在宜分别测量并进行修正。如果使用CCD摄像机, 则强烈建议使用被冷却的传感器, 以降低噪声和得到更宽的动态范围。
还宜使用每行至少1 000像素的摄像机。

5 调制传递函数的测定

5.1 准备

- a) 试验器件应放置于一平面上, 该平面与入射面尽可能接近, 但其间距离不大于10mm, 并且与入射面平行;
注: 现代XRII的旋转对称性是指对所使用试验器件的方位没有要求。
- b) 中心放大率应以1%或更高准确度进行测定;
注: 在YY/T 0457.4中给出了一种中心放大率的测定方法。
- c) 试验器件的中心应在中心轴上。

5.2 测量

- a) 空间滤光片法

输出屏上的影像经过透镜或透镜组投影到包含有 MTF 分析仪的空间滤光片的分析器平面上。调整该空间滤光片, 以使其排列方向平行于狭缝影像的长轴。

以光探测器, 例如一个光电倍增管, 来测量经空间滤光片传递的光强度。

在分析器平面上沿与狭缝影像长轴垂直的方向移动滤光片至少一周, 记录下光强度的最大值和最小值。

假定空间滤光片是正弦的并且在传递中由完全透明变化到完全不透明, 则以滤波频率 f_i 表示的被测量 MTF 由下式确定:

$$MTF_M(f_i) = \frac{INT_{\max} - INT_{\min}}{INT_{\max} + INT_{\min}}$$

式中:

INT——光强度。

应对所有要求的频率重复上述测量。

注: 可以使用一片可调节空间频率的滤光片代替多片不同的空间频率的滤光片来测量不同频率下的 MTF。

b) LSF 法

在输出屏上的影像通过一个透镜或透镜组投影于二维摄像机的靶面上。相对于摄像机, 狭缝的方向应是使狭缝成像平行于摄像机的垂直方向。

借助二维摄像机, 通过在垂直方向累加输出影像所投影到的区域内所有的影像像素的内容, 得到数字化影像, 进而推导出线扩展函数。对于圆形的影像, 这意味着相对于影像中心影像边缘有较少数量的像素对 LSF 起作用。

如果 MTF 分析仪的输入仪器的动态范围是受限制的, 见 4.5e), 则 LSF 应经过一次以上的测量来确定, 例如用不同的强度。测量结果可以通过换算合成。

注 1: 对于 MTF 的低频部分的测量, 采用比在 MTF 的高频部分的测量中所使用的狭缝更宽的狭缝将大有益处(见 4.4a))。在记录 MTF 的拖尾值时, 一个窄的中性滤光片可以用来阻挡输出影像中心最强的部分。

注 2: 当需要进行暗电流修正时, 见 4.5e) 在 LSF 结果的拖尾值中可能出现负值。负值应该通过空间平滑予以消除。

被测调制传递函数, MTF_M 由 LSF 经傅里叶变换得到。

用于测量的空间频率分辨率, Δf 由下式给出:

$$\begin{aligned}\Delta f &= (N \times X)^{-1} \text{ mm}^{-1} \\ f_{\min} &= (EFS)^{-1} \text{ mm}^{-1} \\ f_{\max} &= (4 \times X)^{-1} \text{ mm}^{-1}\end{aligned}$$

式中:

N ——每行测量点数(像素);

X ——采样间隔(以毫米为单位(mm), 并且与入射面相关);

f_{\min} ——最小的可视空间频率;

EFS ——入射野尺寸[以毫米为单位(mm)];

f_{\max} ——最大有用空间频率(Nyquist 频率的一半)。

如果在 f_{\max} 处的 MTF_M 值超过 0.02, 则是对狭缝影像的采样不适当, 例如由于摄像机的分辨率有限所导致, 这种情况应在更高的光学放大倍率下进行第二次测量。

c) 空间频率的标定应参照 XR11 的入射面。在必要之处, 空间频率的标定应使用中央放大率和透镜放大率来重新标定。

d) 在零空间频率处的 MTF 值定义为 1.00。

5.3 修正

测量到的调制传递函数 MTF_M 受到试验器件的调制传递函数 MTF_T 、光学系统和 MTF 分析仪的

调制传递函数 MTF_A 的影响。焦点的调制传递函数 MTF_s 也可能影响测量到的调制传递函数。为了得到 XRII 的调制传递函数 MTF_x , 应对这些影响进行修正。

a) MTF_x 应以下式计算:

$$MTF_x = \frac{MTF_M}{MTF_T \times MTF_A \times MTF_s}$$

b) 试验器件的 MTF 由下式给出:

$$MTF_T(f) = \frac{\sin(\pi \times d \times f)}{\pi \times d \times f}$$

式中:

f ——空间频率;

d ——狭缝的宽度。

这个近似的方法假定狭缝的宽度小于其长度。

- c) MTF 分析仪的调制传递函数, 包括光学系统, 可以从 MTF 分析仪的随机文件的规定得到。另一方面, MTF_A 可通过单独的测量来测定(见附录 C)。
- d) 如果已经在一个以上的频率范围内测量了 MTF , 例如一个低频段和一个高频段, 则应在每一个频段上对其 MTF_A 进行修正之后再行各频段结果的合成。高频段到低频段的换算(标定)应在各个频段的极限之间的某个频率或频率范围内进行。
- e) 倘若需要对 MTF_s 予以修正, 则实际焦点的 MTF 应根据 YY/T 0063 来测定, 见 4.3b)。否则 MTF_s 应为 1.00。
- f) 空间频率的标定应基于 XRII 的入射面(见 5.2 b)。
- g) 用于修正的所有调制传递函数的乘积在整个所考虑的空间频率范围内应大于 0.5。

5.4 低频跌落的确

低频跌落由下式计算:

$$LFD = [1.00 - MTF(0.1 \text{ mm}^{-1})]$$

5.5 测定的综合精度

作为结果的调制传递函数应在整个所考虑的频率范围的以 0.02 或更高的准确度来测定。

注: 请关注关于 OTF 测量准确度的 ISO/TC 172/SC 1 文件[2]。

6 调制传递函数的表示

a) MTF 的表示应包括以下几点:

——XRII 的标识, 例如属类, 型号或编号;

—— MTF 包括 LFD 均以双线状图表示在以零点开始的双坐标轴上。以 mm^{-1} (或 cm^{-1}) 为单位表示空间频率应基于 XRII 入射面上的值;

—— LFD 的数值。

b) 除非另有规定, 否则所表示的数据要基于最大入射野尺寸。

7 符合性声明

如果要声明 X 射线影像增强器调制传递函数的测定符合本部分, 则应以如下形式表示:

——调制传递函数: YY/T 0457.7—2003

或者

—— MTF YY/T 0457.7- 2003。

附 录 A
(资料性附录)
术 语 索 引

IEC 60788	rm-1.1.1
国际单位制中单位名称	rm-1.1.1 *
未定义的派生术语	rm-1.1.1 +
未定义术语	rm-1.1.1 -
早期单位名称	rm-1.1.1 •
缩略语	rm-1.1.1 s
YY/T 0457.7 中的 3.1	3.1
随机文件 accompanying documents	rm-82-01
实际焦点 actual focal spot	rm-20-12
防散射滤线栅 anti-scatter grid	rm-32-06
最佳聚焦 best focus	3.1.19
中心轴 central axis	3.1.8
中心放大率 central magnification	3.1.9
入射野中心 centre of the entrance field axis	3.1.7
输出影像中心 centre of the output image	3.1.6
光阑 diaphragm	rm-37-29
光电 X 射线影像增强器 electro-optical X-ray image intensifier	rm-32-40
入射野 entrance field	3.1.3
入射野尺寸 entrance field size	3.1.4
入射面 entrance field plane	3.1.2
焦点 focal spot	rm-20-13s
半价层 half-value layer	rm-13-42
等晕区 isoplanatic region	3.1.11
光探测器 light detector	3.1.21
线扩展函数 line spread function LSF	3.1.16
线性范围 linear range	3.1.13
线性度 linearity	3.1.12
低频跌落 low frequency drop	3.1.20
制造商 manufacturer	rm-85-03
调制传递函数 modulation transfer function MTF	3.1.17
调制传递函数分析仪 MTF analyser	3.1.18
焦点标称值 nominal focal spot value	rm-20-14
正常使用 normal use	rm-82-04
一维光学传递函数 one-dimensional optical transfer function	3.1.15
光学传递函数 optical transfer function	3.1.14
输出影像 output image	rm-32-49
输出屏 output screen	rm-32-48

点扩展函数 point spread function DSF	3.1.10
辐射 radiation	rm-11-01
辐射探测器 radiation detector	rm-51-01
辐射质量 radiation quality	rm-13-28
辐射源 radiation source	rm-20-01
源面距 source to entrance plane distance	3.1.5
特定的 specific	rm-74-01
规定的 specified	rm-74-02
靶面 target	rm-20-08
试验器件 test device	rm-71-04
总滤过 total filtration	rm-13-48
传递 transfer	rm-84-02
透射 transmission	rm-12-10
可视辐射 visible radiation	rm-11-01—
X射线辐射 X-ray radiation	rm-11-01—
X射线设备 X-ray equipment	rm-20-20
X射线影像增强器 X-ray image intensifier	rm-32-39
X射线管 X-ray tube	rm-22-03
X射线管电压 X-ray tube voltage	rm-36-02
X射线图形 X-ray pattern	rm-32-01
光电 X射线影像增强器 XR11	3.1.1

附 录 B
(资料性附录)
试验器件的构造

对于试验器件的构成,建议使用一片或多片重元素如钨、铂、铀等的层板。为充分阻隔 X 射线,试验器件厚度取决于试验器件的构成和使用的元素。该厚度通常为 1.0 mm 或更厚。

附录 C

(资料性附录)

MTF 分析仪的 MTF_A 的测定

原理上 MTF_A 的测定非常简单。

注：注意关于 OTF 测量准确度的文件[2]见附录 D。

一个尺寸为 $0.020\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的狭缝放置于配有光学系统的 MTF 分析仪的前面。然后该狭缝被聚焦。应以非相干光照射该狭缝，最好由 XR11 输出屏产生的，或者以具有相同光谱分布的光照射，然后按 5.2 描述的那样进行 MTF 的测量。

被测定的 MTF 应对狭缝的 MTF_T 予以修正。应对使用的每一个光学系统测定 MTF_A 。对于 5.3 的计算，空间频率的标定应基于 XR11 的入射面。由于中央放大率会随着 XR11 的类型不同而变化，因此在实际的计算中基于 XR11 输出影像的平面，而后对入射面进行重新标定将更为方便。当各光学系统的放大率不为 1 时，应对 XR11 输出影像平面（即狭缝平面）进行重新标定。放大率由 MTF 分析仪提供，否则应单独测定。

如果 XR11 有一个玻璃的输出窗，即影像的平面位于 XR11 的内部，那么当测定 MTF_A 时，宜在狭缝与光学系统之间放置一个相似的玻璃窗。添加的玻璃窗应该在两面都有防反射的涂层。添加玻璃窗对于大孔径的透镜有重要的影响。

注：当使用高质量的光学系统时，对 MTF_A 的修正通常很小，因此推荐使用这样的系统。

附 录 D
(资料性附录)
参 考 文 献

- [1] Introduction to the optical transfer function , by C. Williams and O. Becklund, 1989, John Wiley & Sons, New York.
 - [2] Optics and optical Instruments—Accuracy of optical transfer funtion measurement, Draft International Standard ISO/DIS 11421.
-