



中华人民共和国国家标准

GB/T 23909.1—2009

无损检测 射线透视检测 第1部分：成像性能的定量测量

Non-destructive testing—Radioscopic testing—
Part 1: Quantitative measurement of imaging properties

2009-05-26 发布

2009-12-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

GB/T 23909《无损检测 射线透视检测》分为三个部分：

- 第1部分：成像性能的定量测量；
- 第2部分：成像装置长期稳定性的校验；
- 第3部分：金属材料X和伽玛射线透视检测总则。

本部分为GB/T 23909的第1部分。

本部分修改采用EN 13068-1:1999《无损检测 射线透视检测 第1部分：成像性能的定量测量》（英文版）。

本部分根据EN 13068-1:1999重新起草。

考虑到我国国情，在采用EN 13068-1:1999时，本部分做了一些修改。有关技术性差异如下：

- 删除第2章，并将规范性引用文件EN 29241-2和EN 29241-3移至参考文献。

为便于使用，本部分还做了下列编辑性修改：

- 删除欧洲标准的前言；
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；
- 删除第2章后，其他章条号依次变更。

本部分的附录A为资料性附录。

本部分由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本部分起草单位：山东山大奥太电气有限公司、上海英华检测科技有限公司、广东盈泉钢制品有限公司、上海材料研究所、通用电气检测科技有限公司、上海艾因蒂克实业有限公司。

本部分主要起草人：孔凡琴、张光先、陈仁富、曾祥照、李博、章怡明、张瑞。

无损检测 射线透视检测
第 1 部分：成像性能的定量测量

1 范围

GB/T 23909 的本部分规定的规程能够应用在提供电子信号显示单元或者图像自动分析系统的所有射线透视系统上。通过对被认可的测量样本的响应来对该射线透视系统进行分析。测量工作宜在装备完善的实验室里进行。

可以从测量结果中得到成像系统的成像性能。
本部分不包括动态下的成像性能。

2 射线透视系统

射线透视系统包括射线源、处理系统、准直器、滤光板和成像装置。

成像设备包括 X 或伽玛射线转换装置，把衰减的射线转换成数字或光学显示的输出信号 S（见图 1）。图像处理器可以是成像设备的一部分。在目视评定的情况下，它包括显示单元。在全自动图像评定系统中，显示单元不是系统的一部分。

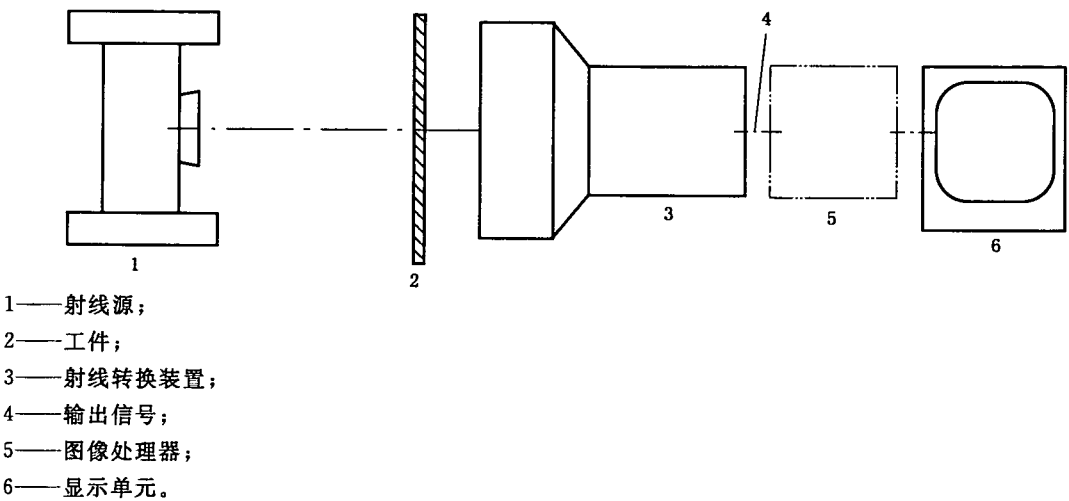


图 1 射线透视系统的典型布置

为了规定成像设备的成像性能，使用了信息论和射线透视检测的术语和参数。表 1 中的参数定义了成像设备的图像质量。

表 1 图像质量参数

图像质量参数	定 义	说 明	要 点
固有不清 晰度 U_i	$U_i = s_c \times t_r$ $t_r = t_{90\%-\text{ESF}} - t_{10\%-\text{ESF}}$ 并且过量曝光 $\leq 10\%$	固有不清晰度与源于强度 阶梯函数的边扩展函数 ESF 的上升时间 t_r 成正比	小物体细节的分辨 限制
空间调制 传递函数 MTF	$\text{MTF}(f_x) = \frac{1}{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(x) dx} \left \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(x) \times e^{2\pi j(xf_x)} dx \right $ $\text{LSF}(x) = \frac{d\text{ESF}(x)}{dx}$	微分空间边扩展函数 ESF，进行傅立叶变换后 的幅值谱 LSF：线扩展函数	物体尺寸对比度传递 函数； 图像清晰度的函数 描述

表 1 (续)

图像质量参数	定 义	说 明	要 点
对比率 C_0	$C_0 = S_0 / S_{P0}$	无屏蔽的平均幅值 S_0 与前屏进行 10% 屏蔽后的平均幅值 S_{P0} 之比	在射线源足够远情况下, 射线透视系统内的对比度减少干扰效应
对比灵敏度 C_s	$C_s = \frac{\Delta W_{\min}}{W} \times 100\%$ $SNR(\Delta W_{\min}) \geq 2$	穿过的最小厚度变化 ΔW_{\min} 与总厚度 W 之比 $SNR(\Delta W_{\min}) \geq 2$	厚度变化对信号传输的限制, 是厚度的函数
厚度范围 ΔW_0	$\Delta W_0 = W_{\max} - W_{\min}$ 当 $SNR=2$ 时, $W_{\max}=W$ 当 $S=S_{\max}$ 时, $W_{\min}=W$	提供有用视频信号的厚度差异	在图像内能够观察到的最大厚度范围
微分和积分变换变形 $V_{d,i}$	$V_{d,i} = \left(\frac{S_{i,d}}{S_c} - 1 \right) \times 100\%$	与显示刻度 $S_{i,d}$ 与中心显示刻度 S_c 相关的直径比值	几何变形
微分和积分图像均匀度 $H_{d,i}$	$H_d = \frac{S_{\max}}{S_{RMS-SN}}$ $H_i = \frac{S(x,y)}{S_{\max}}$	最大视频信号幅值 S_{\max} 与空间噪声均方根 S_{RMS-SN} 的比值; 局部视频信号幅值 $S(x,y)$ 与探测器输入屏上强度均匀的局部区域的 S_{\max} 之比	对比在局部空间和整体空间传递的变化 (阴影)

在图像质量参数的描述中, 使用了信噪比 (SNR) 术语。SNR 是实际的局部范围信号 ΔS 和噪声信号起伏的均方根值 S_{RMS} 的比值 (见图 2)。

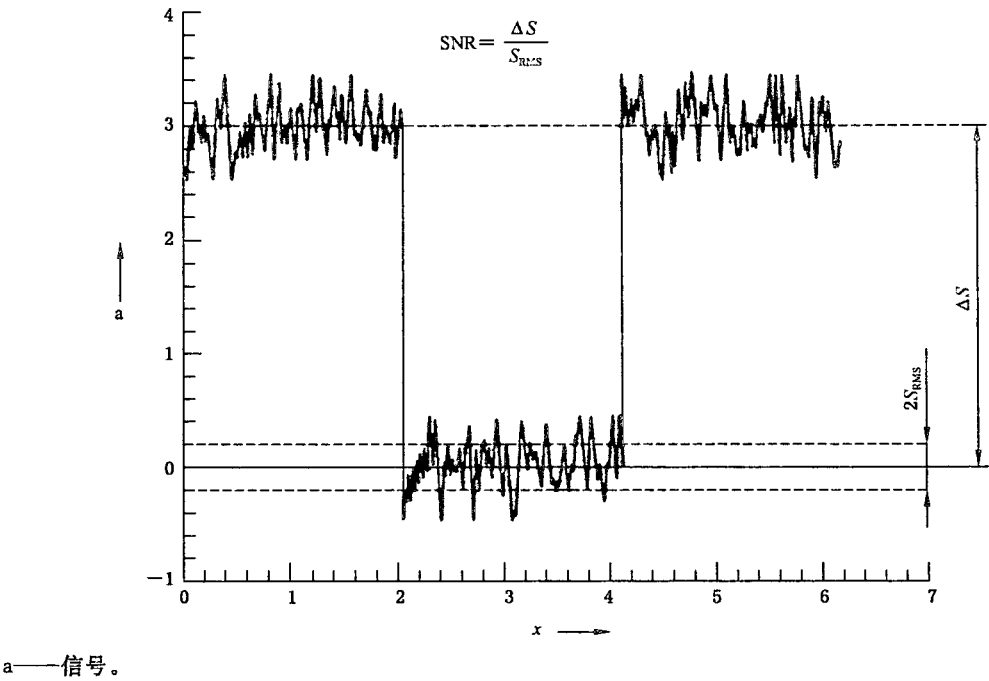


图 2 输出信号 S 的 ΔS 和 S_{RMS}

3 图像质量参数的测量

3.1 基本原则

3.1.1 转换装置

对转换装置进行测量的原理是把测试计的射线衰减作为输入信号,用适当的测量装置(见图 1),测量系统对线性原始输出信号的响应。所有的测量都应在成像装置上进行。

图 3 显示了所有测量的基本设置。射线滤光板应放在射线管的前面。应使用准直器减少射线散射。所有的测试计应放在转换装置探测器输入屏的前方。它们产生的射线衰减作为输入信号。测量装置应与最终的输出信号连接,以测量总系统的响应。

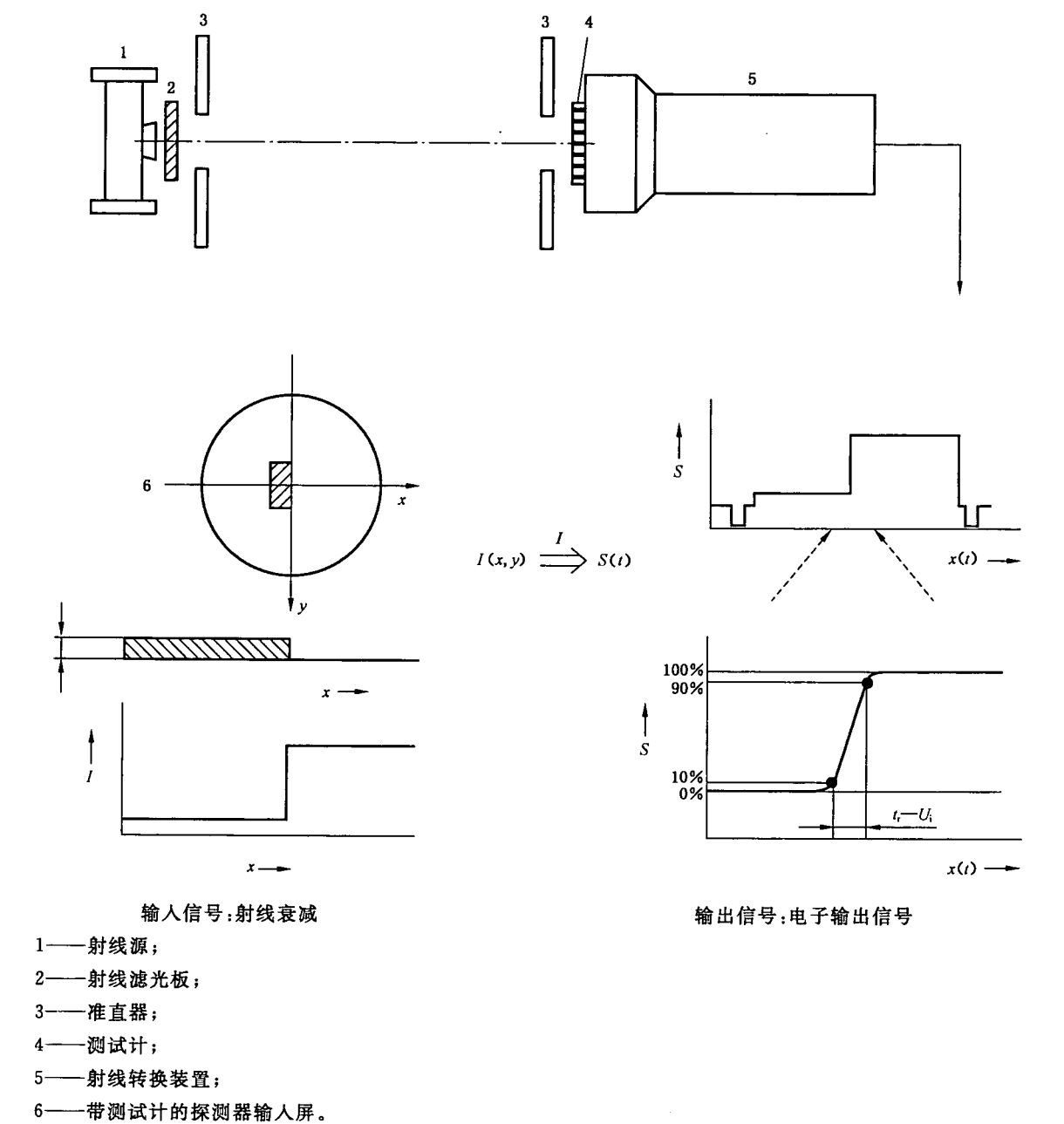


图 3 测量装置

对视频信号,测量装置应至少满足下列要求:

- 幅值分辨力 ≥ 10 bit;
- 时间分辨力 ≥ 10 bit=1 024 采样点;
- 带宽 ≥ 50 MHz;
- 最小采样频率 ≥ 100 MHz;
- 信号平均功能。

由于图像质量参数依赖于射线能量和质量,测量应在射线透视系统允许的能量范围的低、中、高段进行,该系统应有固定的 X 射线装置。为了保证清晰的射线质量,应使用表 2 所示的射线滤光板。应调整管电流,使转换装置输入面上的剂量率为 0.01 mGy/min、0.1 mGy/min、1.0 mGy/min 或 10 mGy/min。

表 2 系统测量用的射线滤波

管电压/kV	射线滤光板的厚度与材料 ^a /mm
50	7±0.5Al
100	22±0.5Al
150	7±0.5Cu
200	12±0.5Cu
300	15±0.5Cu
400	25±0.5Cu
>400	35±0.5Cu
^a 滤光板材料的纯度宜高于 99%。	

在测量过程中,应按操作手册和制造商的使用说明书操作射线透视系统,应调整射线强度使得射线滤光板后面的探测器屏中间位置上的输出信号 S 显示最大信号幅值 S_{\max} 。应在探测器输入屏前方中间位置上用一个电离室测量射线强度,而且和其他测量结果一起归档记录。

在测量之前,宜保证 X 射线探测器充分使用一段时间(例如 X 射线图像增强器已经经受了 1 Gy 射线辐照)。

3.1.2 显示单元和图像处理器

推荐下面的规程来评估显示单元和图像处理器。

依照 3.1.1 对测量装置的要求,通过信号发生器产生一个条状图形。发生器应能产生与显示单元和图像处理器极限带宽相等的竖条信号。

条状图形被显示在图像显示单元上。通过一个光学传感器截取一小部分(最大显示区域的 10%)进行评定。对结果进行数字化。合适的光学传感器是 TV 摄像机或线性线扫描照相机。放大比例应至少是 10。因此,要在 TV 监控器上显示 1 个像素,在帧缓冲器里至少要有 10 个像素。显示单元的像素频率和照相机间的拍频效应能够通过信号积分补偿。

3.2 测量过程

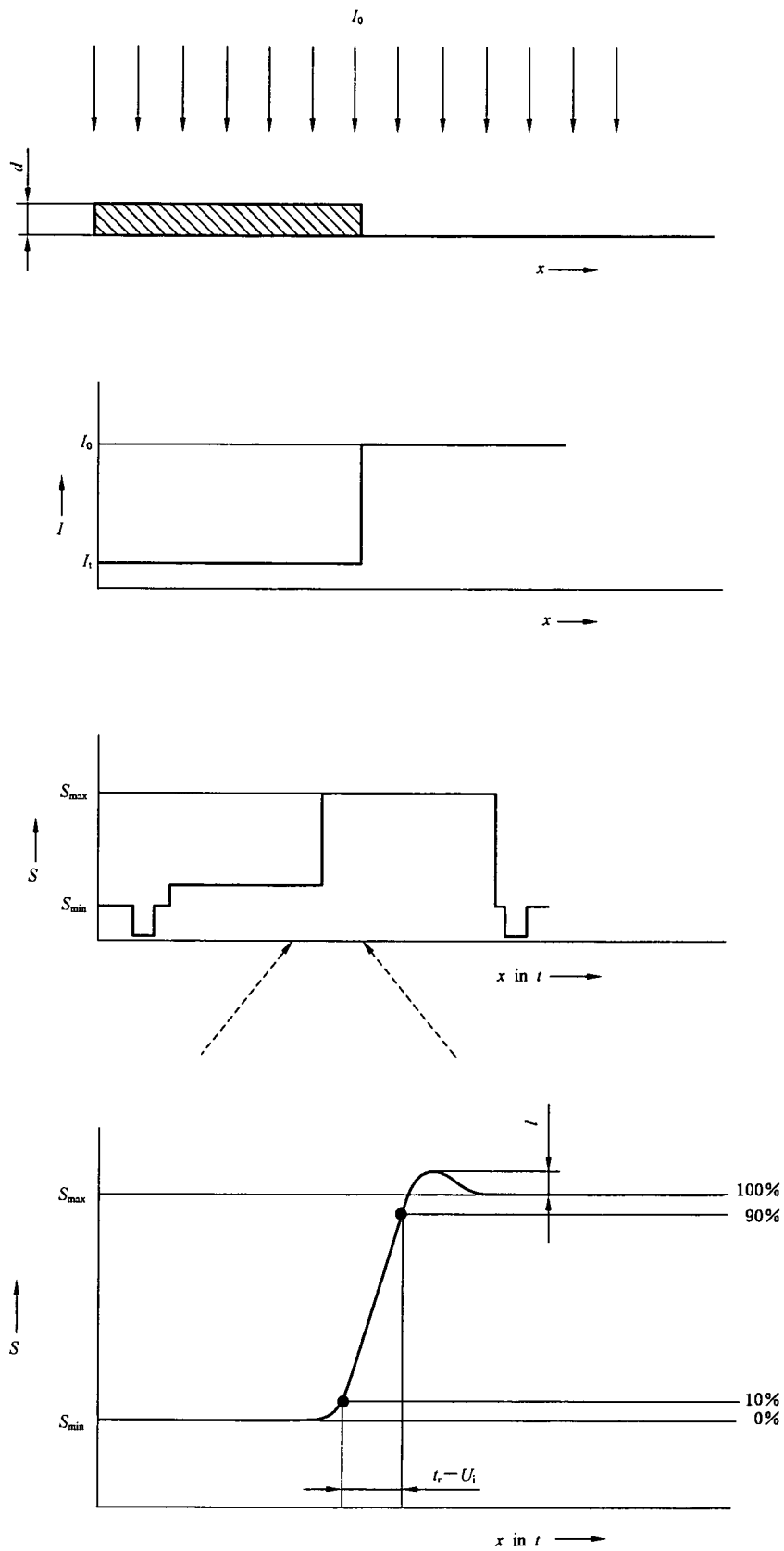
3.2.1 转换装置

3.2.1.1 清晰度(空间分辨力)

为了表征系统的清晰度,应测量下述三个图像质量参数:

a) 固有不清晰度

要测量固有不清晰度 U_i [见公式(2)],应通过吸收材料的锐边产生一个强度台阶函数(图 4)。锐边图像应位于与探测器读出线垂直和水平的探测器输入屏中心上,根据 3.1 中给出的被选值,应通过管电流调整射线强度。为了减少散射射线的影响,探测器输入屏上应覆盖吸收材料,由此,只有大约 10%的探测器输入屏被辐照。



1——过量曝光。

图 4 固有不清晰度的测量

应调整系统,使输出信号表征了一个黑到白信号(边扩展函数 ESF),该信号的最小幅值是最大电子信号幅值的 90%,并且过量曝光小于 10%。固有不清晰度与边扩展函数的上升时间 t_r 成比例。如果有一个可调整的光阑,则在协议中应说明它的安装。

为了计算单位为 mm 的固有不清晰度(图 5),第二个测量将给出比例因子 s_c 的值。应使用一个已知长度 l 的测试计来代替边缘,应测量响应尺寸 x_1 (输出信号的时间间隔)[见公式(1)]。

$$s_c = \frac{l}{x_1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$U_i = s_c \cdot t_r, \text{过量曝光} \leq 10\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$t_r = t_{90\% \times \text{ESF}} - t_{10\% \times \text{ESF}}$$

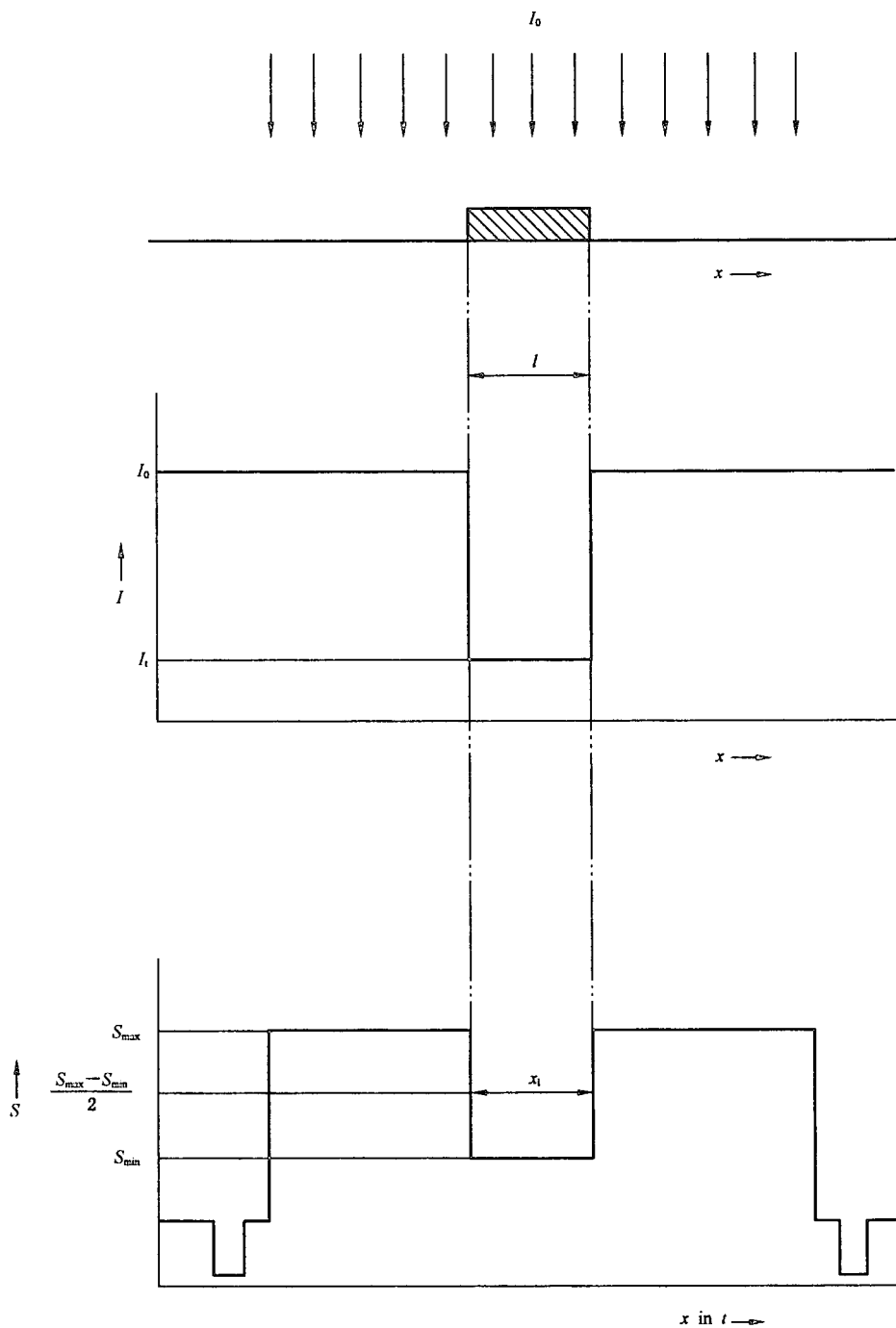
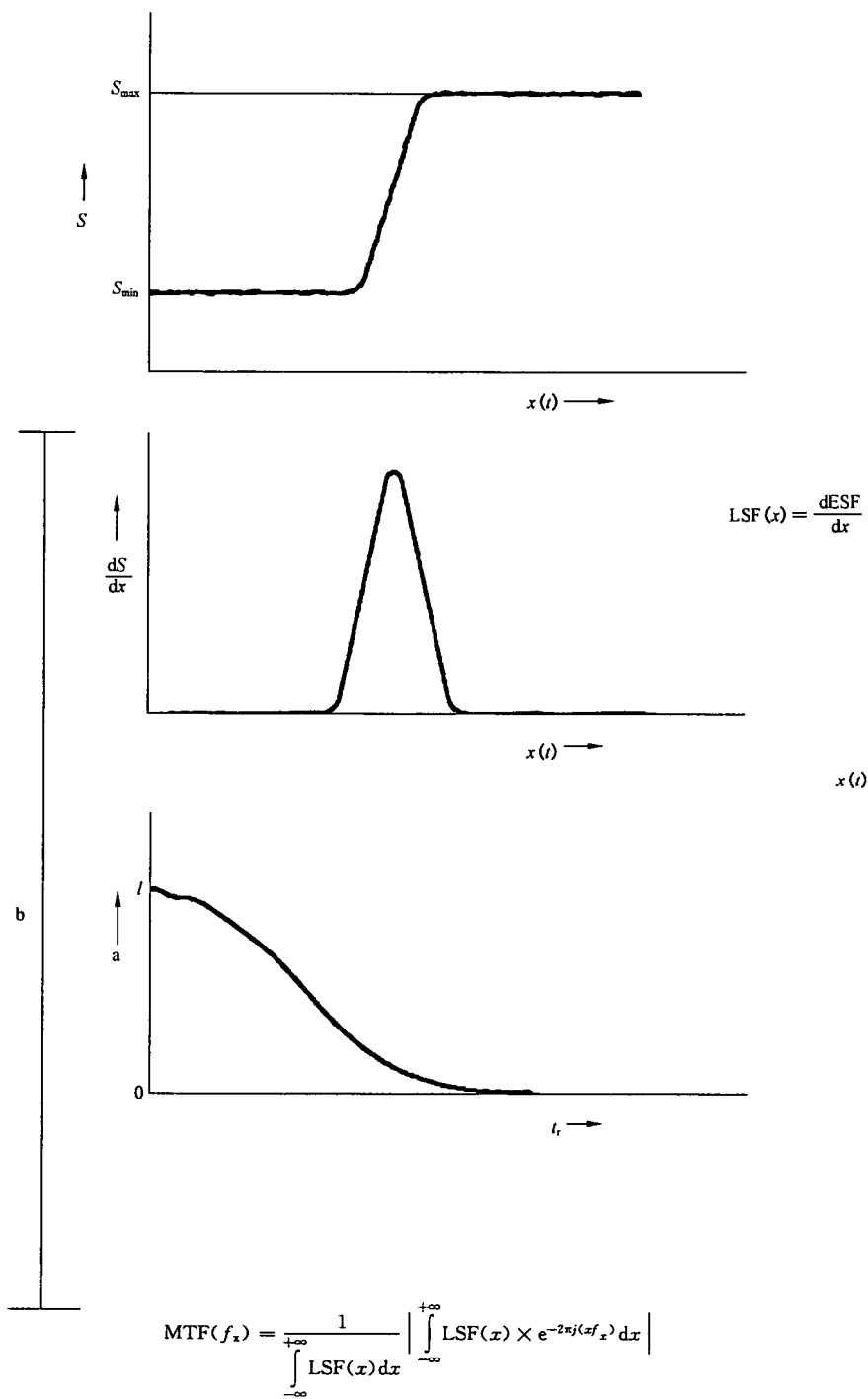


图 5 s_c 的测量

b) 空间调制传递函数 MTF

计算 MTF 的起点是上一步固有不清晰度测量中的边扩展函数(图 6)。应对边扩展函数进行高分辨力的数字化,保存在计算机里。数字化过程中应考虑到采样定理。应对 ESF 进行数字微分以得到线扩展函数 LSF。对 LSF 进行傅里叶变换,通过它的幅值谱会得到 MTF。对于普通的 MTF 曲线,空间频率 $f=0$ Lp/mm 处的调制度 m 应归一化到 $m=1$ 。如果可能,可以由数字图像处理系统获得的原始灰度值来决定垂直 MTF。



a——调制度 m ;
b——数字评估。

图 6 空间调制传递函数的测量

c) 低空间频率的对比率

要测量对比率 C_0 。首先,应使用相同的射线辐照探测器输入屏,这些射线没有任何屏蔽(图 7)。应测量探测器输入屏中间的平均信号幅值 S_0 。然后,应在探测器输入屏 10% 的区域中心放置屏蔽板,应测量屏蔽板后电子信号的平均幅值 S_{pb} 。屏蔽板对射线的吸收应通过一个因子减少射线强度。

$$C_0 = S_0 / S_{pb} \dots\dots\dots (3)$$

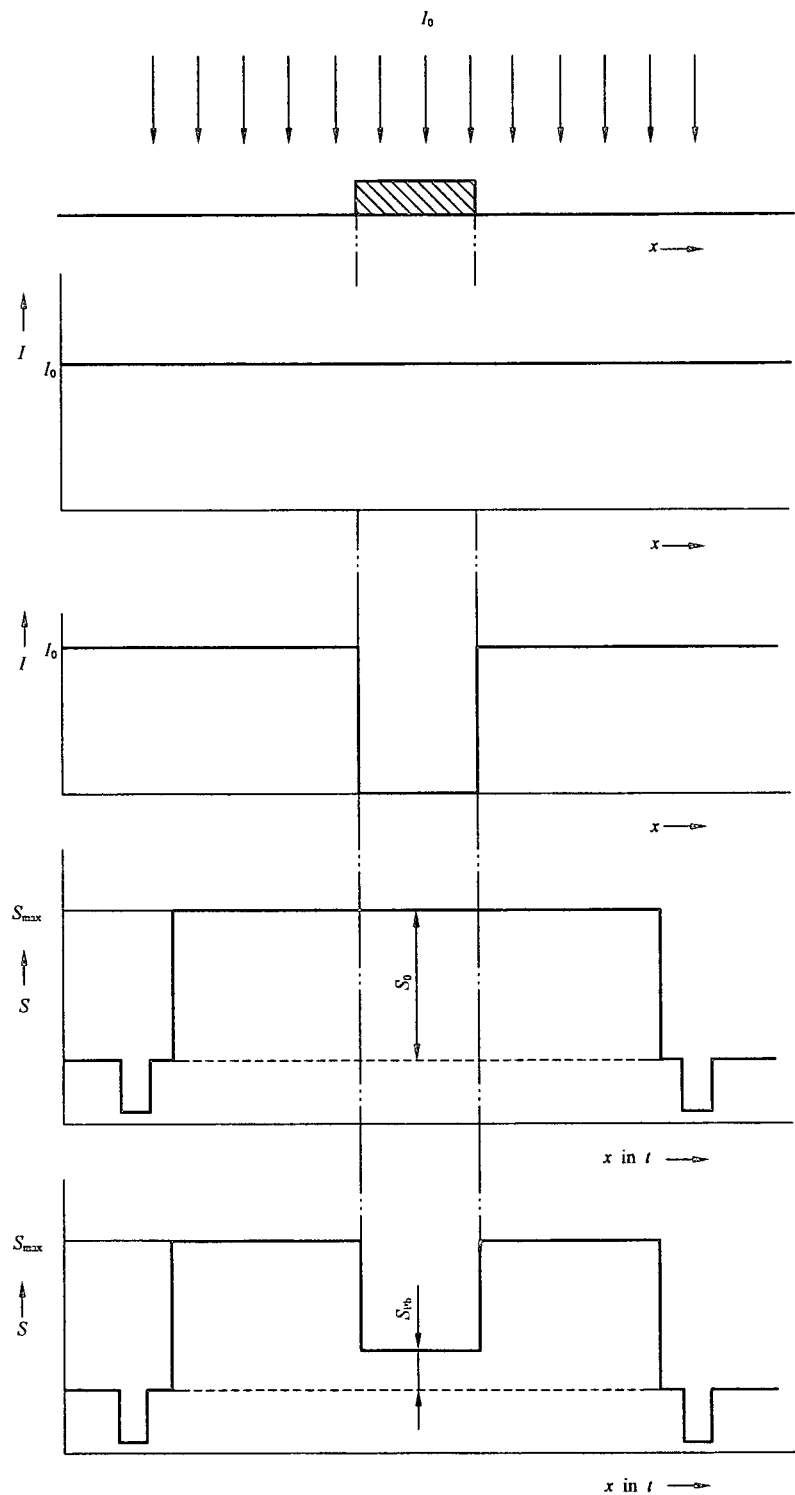


图 7 低空间频率的对比度的测量

3.2.1.2 对比度

每幅图像的曝光时间、积分图像的数量,以及剂量率都应在协议中说明。射线透视系统的对比度特性通过下列图像质量参数描述。

a) 对比灵敏度

为了产生对比度渐减的射线衰减,应把厚度为 d ,面向射线源面带一个阶梯边缘的钢盘置于探测器输入屏前面(图 8)。阶梯边缘应置于探测器信号读出阵列方向,且应位于探测器输入屏的中心。在输出信号中,应测量每一个阶梯边缘的信噪比 SNR。SNR ≥ 2 的最薄阶梯应被看作最小可检测的厚度变化 ΔW_{\min} 。

$$S = \Delta W_{\min}/W \dots\dots\dots (4)$$

为了减少量子噪声的影响,应对信号进行平均。

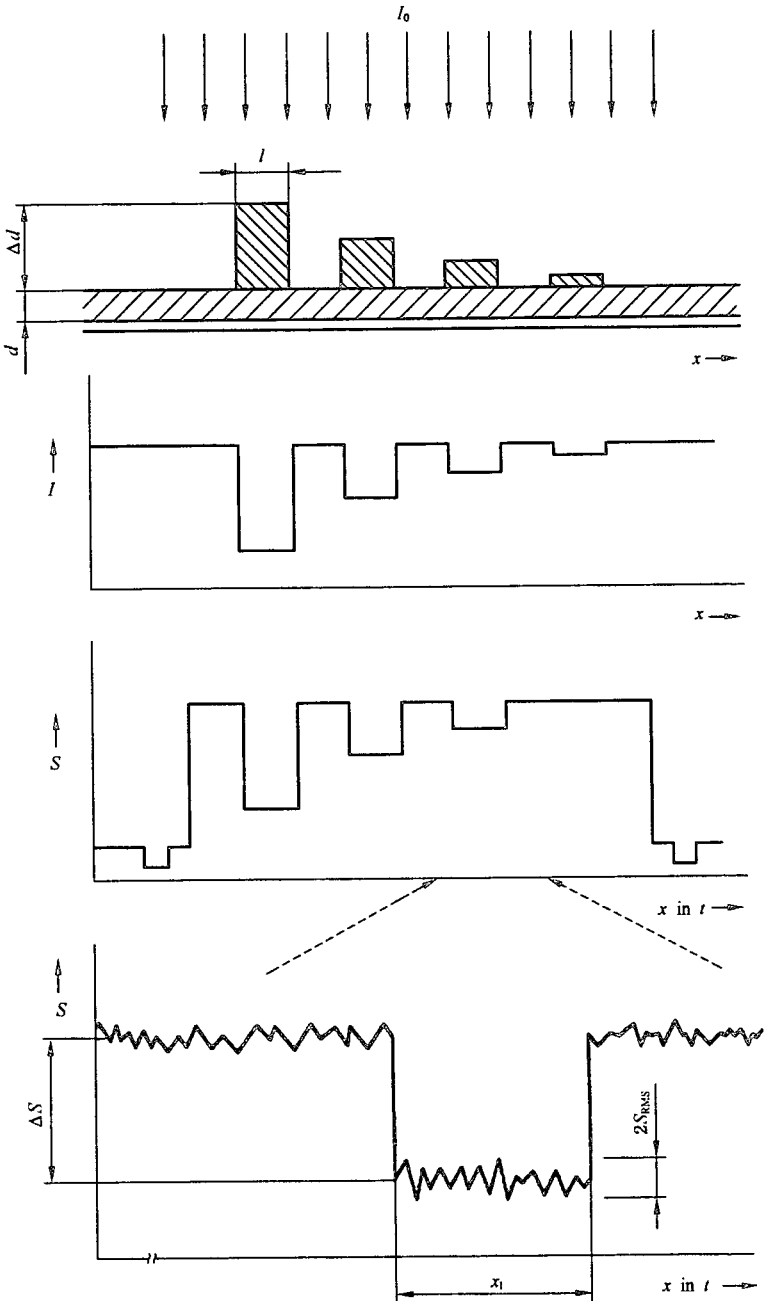


图 8 对比灵敏度的测量

b) 厚度范围

在测量时,首先应定义和确定射线参数如能量和管电流。为了减少散射影响,应只有一小部分前屏(大约 10%)被辐照。探测器输入屏的前方,应放置类似阶梯的测试计,阶梯高约 1 mm (图 9)。输出信号幅值最大对应的最薄阶梯 W_{\min} 应是测量的起点。应沿阶梯厚度逐渐增加的方向逐步摆放测试计进行测量。

应测量每一个阶梯的信号幅值,直到 $\text{SNR} \geq 2$ 。为了减少光子噪声的影响,应对信号进行平均。

最小厚度 W_{\min} 和最大厚度 W_{\max} 之间的差为厚度范围 ΔW_0 [公式(5)]。

$$\Delta W_0 = W_{\max} - W_{\min} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{当 } \text{SNR} = 2 \text{ 时, } W_{\max} = W \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{当 } S = S_{\max} \text{ 时, } W_{\min} = W \quad \dots\dots\dots (7)$$

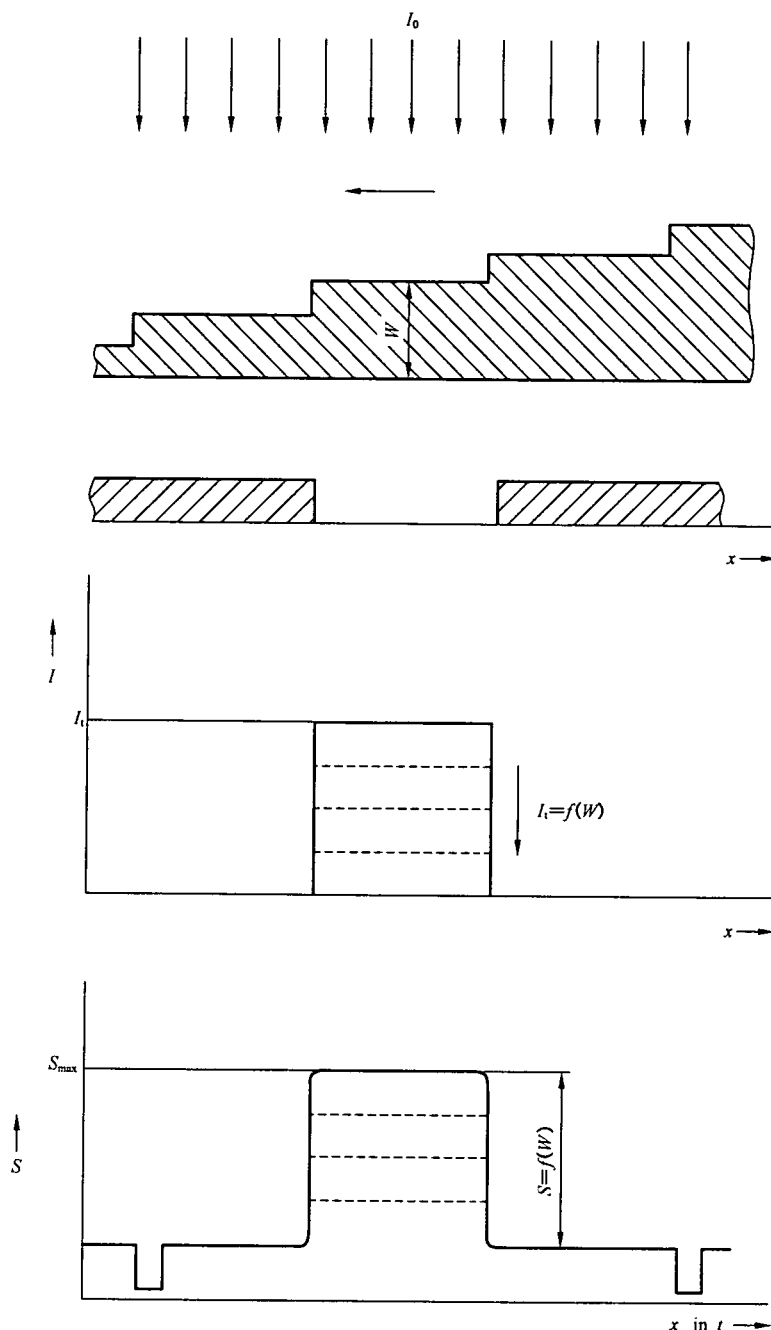


图 9 厚度范围的测量

3.2.1.3 线性

为了表征系统线性特征,应测量下列图像质量参数。

a) 微分和积分变形

为了测量微分和积分变形 V_d 和 V_i ,吸收材料的标记应置于探测器输入屏的前方以产生测量长度。测量应在整个探测器输入屏直径和所有图像角上对应探测器的中心读出行上进行。首先,中心刻度因子 s_c 应在探测器输入屏 x_0 的中心上测量(图 5)。

为了计算距探测器输入屏中心为 r 的某点的局部刻度因子 S_l [公式(8)],应把长度为 l 的测试计放在此点上,测量响应尺寸 x'_l (输出信号的时间间隔)(图 10)。

$$S_l = \frac{l}{x'_l}$$

.....(8)

然后,计算在这个点上的微分变形,以%表示[公式(9)]:

$$V_d = \left(\frac{S_l}{S_c} \right) \times 100\%$$

.....(9)

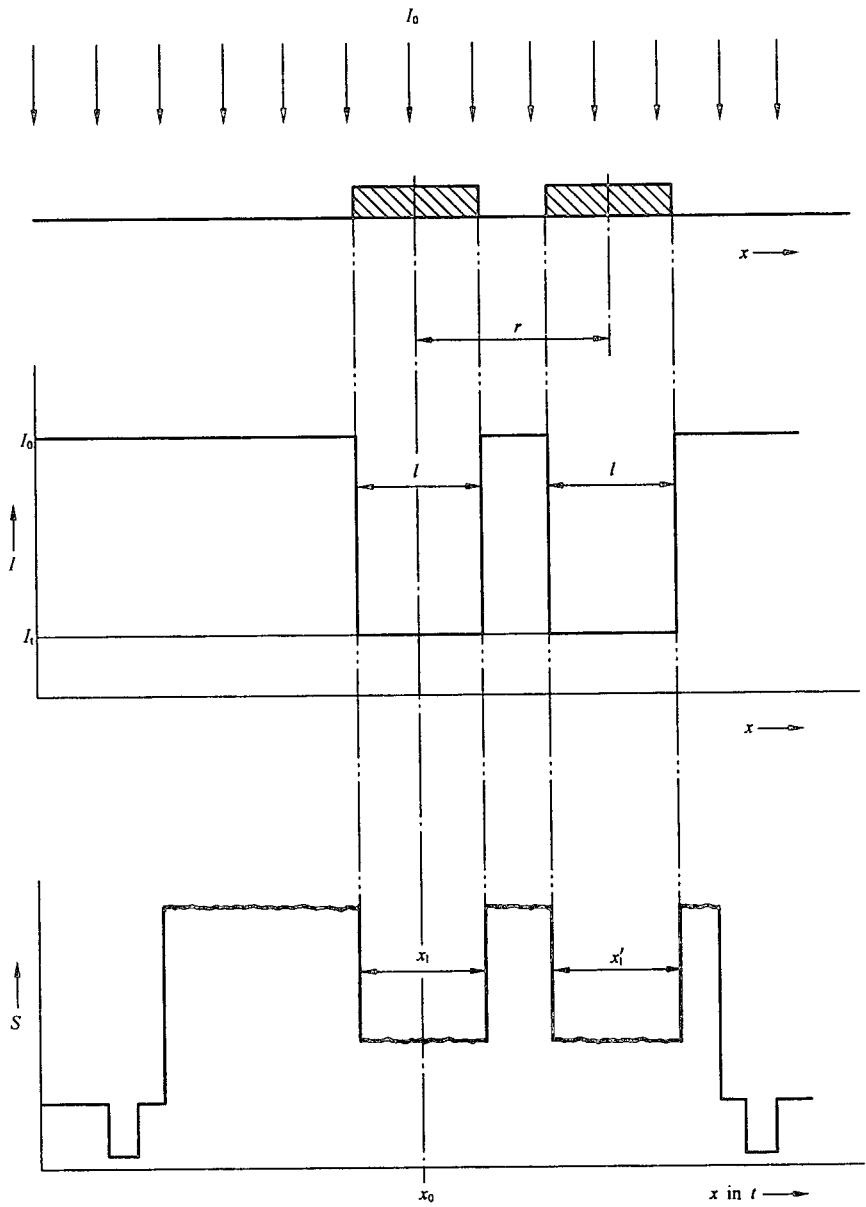


图 10 微分变形的测量

要计算依赖于探测器输入屏直径的刻度因子 S_d [公式(10)], 应在探测器输入屏的前面放置一个测量长度 l_d (如图 11), 并应测量响应尺寸 (输出信号的时间间隔) x_d 。

$$S_d = \frac{l_d}{x_d} \dots\dots\dots (10)$$

然后, 计算这个直径的积分变形, 以 % 表示 [公式(11)]:

$$V_i = \left(\frac{S_d}{S_c} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

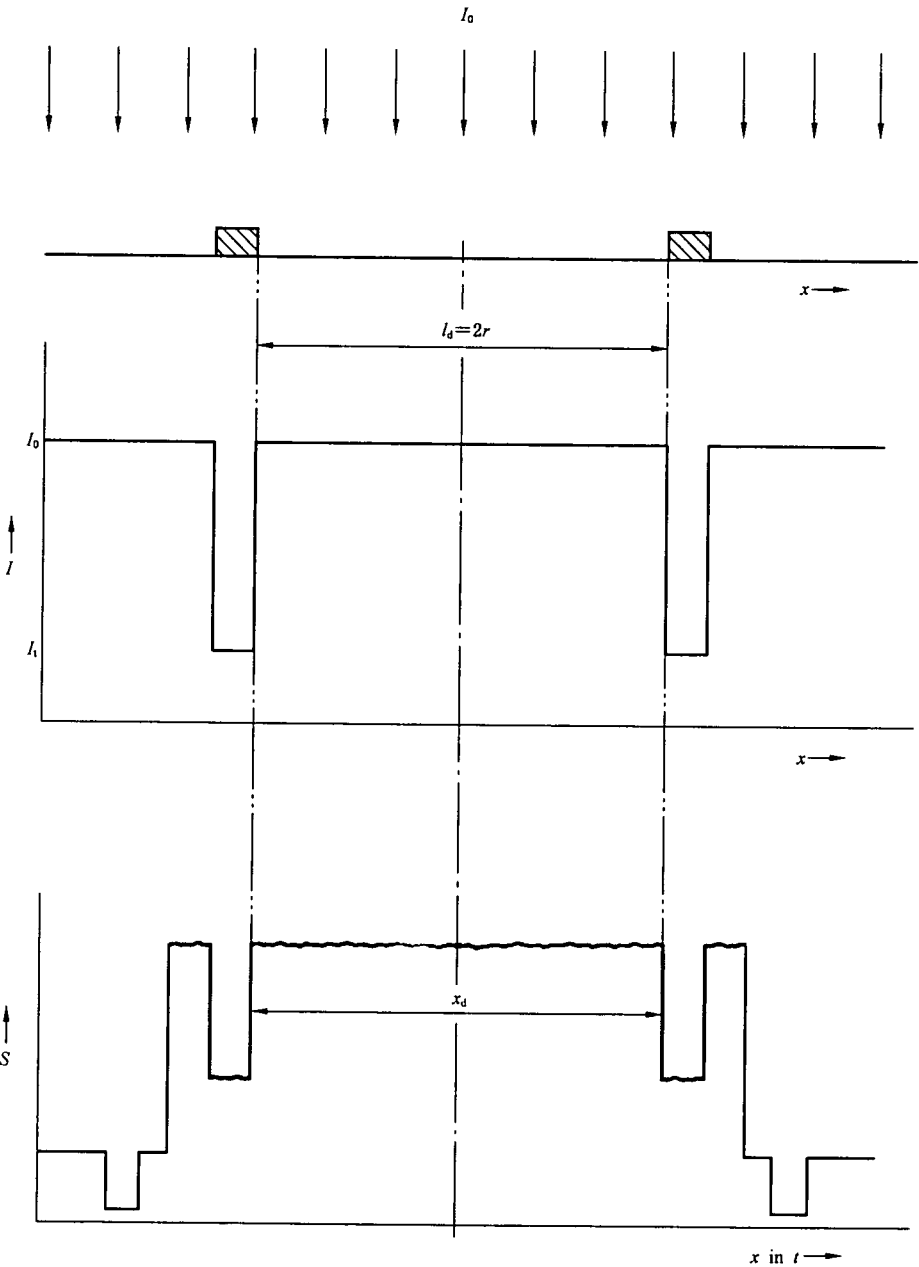


图 11 积分变形的测量

b) 微分和积分图像的均匀度

要测量图像的均匀度, 应使用相同的射线强度辐照射线透视系统的探测器输入屏 (图 12)。为了减少光子噪声, 应对输出信号进行平均。积分图像的均匀度 $H_i(x, y)$ 是图像内信号幅值 $S(x, y)$ 和最大幅值 S_{max} 的比值, 用 % 表示 [公式(12)]:

$$H_i(x, y) = \frac{S(x, y)}{S_{\max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

微分图像的均匀度 H_d 应围绕着点 (x, y) , 在一个局部区域内 (大约探测器输入屏尺寸的 1%) 用电子信号的最大幅值除以空间噪声的均方根值来计算 [公式 (13)]:

$$H_d = \frac{S_{\max}}{S_{\text{RMS}}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

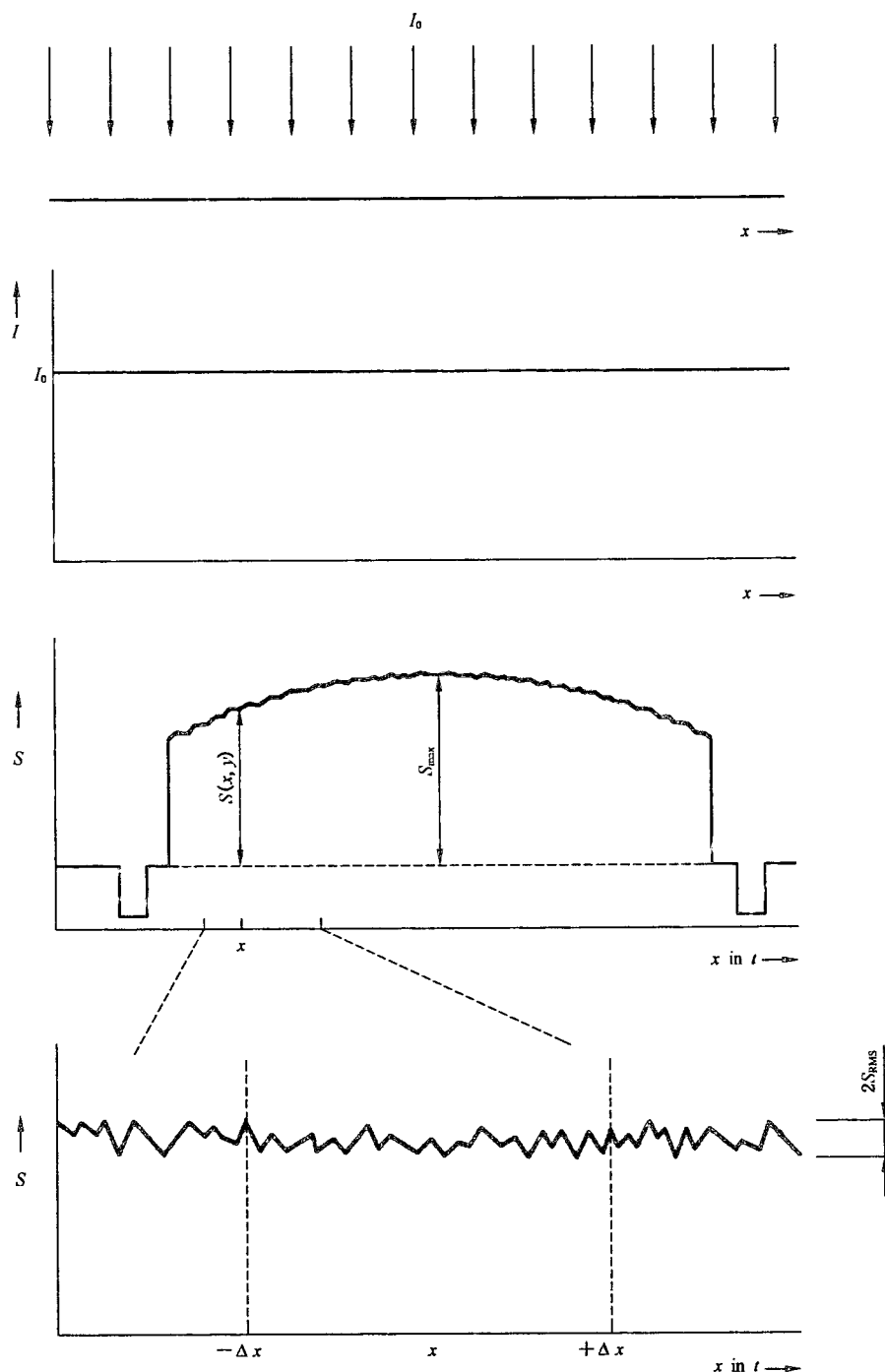


图 12 微分和积分图像均匀度的测量

3.2.2 显示单元和图像处理器

显示单元的图像质量和图像处理器的测量宜采用适当方法进行。

3.3 结果的表达

结果宜根据附录 A 建议的测量报告形式进行记录。正规的报告包括对所研究系统的简短描述,以及用于测量的测量装置。归档的测量值包括 GB/T 23909 的本部分所规定的如清晰度、对比度、图像变形和均匀度等。作为厚度函数的对比度率值、MTF 和均匀度等宜采用图示表示。

附录 A
(资料性附录)
测量报告示例

系统名称:	
系统组件转换装置:	
图像处理器:	
显示单元:	
试验条件 射线源焦点、类型:	
最大管电压: kV	剂量率: mGy/min
最大管电流: mA	焦点直径: mm
距离	
源到第一准直器: mm	源到转换屏: mm
源到第二准直器: mm	源到物体: mm
滤光板的材料和厚度:	
材料和厚度:	
材料和厚度:	
测试计的类型:	
测量装置的类型:	
积分图像的数量:	
分辨力	
b) 时间:	
每幅图像的曝光时间: s	
输入窗口的尺寸	
水平: mm	
垂直: mm	
光阑设置:	
清晰度控制:	
边缘宽度 t_r :	
表示比例 l_i x_i s_c :	

固有不清晰度 U_i 垂直： 水平：			
对比率 在低空间频率： $C_0 =$ 作为厚度函数的对比度曲线和关联的 MTF 曲线			
图像变形			
No.	中心距离	微分变形	积分变形
1			
2			
3			
日期：		签名：	

参 考 文 献

- [1] EN 29241-2, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)—Part 2: Guidance on task requirements(ISO 9241-2:1992).
 - [2] EN 29241-3, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)—Part 3: Visual display requirements(ISO 9241-3:1992).
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测 射线透视检测
第 1 部分:成像性能的定量测量
GB/T 23909.1—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

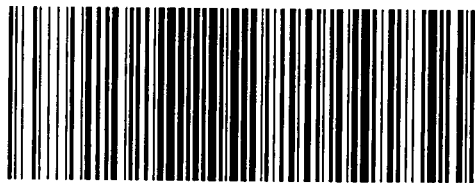
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 35 千字
2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月第一次印刷

*

书号:155066·1-38439 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 23909.1—2009