

ICS 19.100

J 04



团体标准

T/CSTM 00268-2020

航空铸件射线数字成像检测

Digital radiography of aero castings

2020-06-19 发布

2020-09-19 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

前 言

本标准按照 GB/T1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会航空材料领域委员会（CSTM/FC53）提出。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会航空材料领域委员会（CSTM/FC53）归口。

全 国 标 准 公 布 使 用

航空铸件射线数字成像检测

1 范围

本标准规定了使用存储磷光成像板、数字探测器阵列进行航空铸件射线数字成像检测的一般要求、工艺技术要求及质量控制要求。

本标准适用于航空铸件的射线数字成像检测，其它行业可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GBZ 98 放射工作人员的健康要求

GBZ 117 工业 X 射线探伤放射防护要求

GB/T 12604.2 无损检测 术语 射线照相检测

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 23901.5/ISO 19232-5 无损检测射线照相底片像质 第 5 部分：双线性像质计图像不清晰度的测定

GB/T 36439 无损检测 航空无损检测人员资格鉴定与认证

HB 7684 射线照相检验用线型像质计

SMPTE RP133 医用诊断成像测试图像

3 术语和定义

GB/T 12604.2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

存储磷光成像板 (IP) storage phosphor imaging plate

一种涂有稀土元素铕、钡、氟化合物的柔性板，曝光后能以潜影形式存储信息，可以代替胶片用于射线照相检测。

3.2

计算机射线照相系统 (CR 系统) computed radiography system

由存储磷光成像板 (IP)、相应的读出装置 (扫描器或读出器) 和软件等组成的一个完整系统。它能够将 IP 上的信息转换为数字的图像。

3.3

数字探测器阵列系统 (DDA 系统) digital detector array system

将射线转换为电信号并输出数字信号电子装置。

3.4

信噪比 (SNR) signal-to-noise ratio

信号平均值与噪声 (信号均方差) 之比。

3.5

像素 pixel

组成数字图像的最小单元。

3.6

系统校正 system calibration

用硬件或软件的方法抑制数字图像中由于探测器暗电流、辐射场的非均匀性、吸收剂量与灰度值的非线性响应和存在坏点素等因素产生的图像固有噪声的方法。

3.7

图像不清晰度 image unsharpness

一个明锐的边界成像后的影像会变得模糊，模糊区域的宽度即为图像不清晰度，单位是 mm。

3.8

数字图像基本空间分辨率 (SR_b^{image}) basic spatial resolution of a digital image
等于数字图像不清晰度的一半，对应于有效像素大小，表示可分辨的最小的几何细节。

3.9

归一化信噪比 (SNR_N) normalized signal-to-noise ratio

与基本空间分辨率 SR_b 归一化，直接在数字图像中测量和/或根据测量的信噪比计算。

$$SNR_N = SNR_{\text{测量}} \frac{88.6\mu\text{m}}{SR_b}$$

3.10

集群核像素 (CKP) cluster kernel pixel

在相邻的 3×3 范围内好像素不多于 5 个的像素。

4 一般要求

4.1 射线数字成像检测技术分级

4.1.1 射线数字成像检测技术分为 A 级和 B 级两个等级，其中 A 级为基本技术，B 级为优化技术。

4.1.2 射线数字成像检测技术的选择应由合同双方商定。在没有特殊指明时，一般选用 A 级射线数字成像检测技术。若 A 级灵敏度不能满足要求时，应选用 B 级技术。

4.1.3 当 B 级规定的条件(如射线源至物体的距离)无法实现时，经合同双方协商同意可选用 A 级技术所规定的条件，由此引起的灵敏度损失可通过提高归一化信噪比 SNR_N 予以补偿(推荐提高 1.4 倍以上)。若补偿后的灵敏度可达到 B 级技术要求，可认为是按 B 级技术检测的。

4.2 射线检测人员

4.2.1 射线检测人员应按相关规定进行体检，其健康状况应符合 GBZ 98 的规定。

4.2.2 从事射线数字成像检测的人员应按 GB/T36439-2018 或其它行业标准进行技术资格鉴定，取得相应的技术资格等级证书，并从事与专业技术资格等级相适应的工作。

4.2.3 当委托方有特殊要求时，检测人员应依据客户要求取得符合相关资格认证标准的资质。

4.3 设施及环境条件

4.3.1 检测场所

4.3.1.1 检测场所的放射卫生防护条件应满足 GB 18871 和 GBZ 117 的要求。

4.3.1.2 检测场所的温湿度条件应满足设备说明书的相关要求。

4.3.2 评定室

- 4.3.2.1 评定室应整洁、安静，不应有在计算机屏幕上引起反射的外来背景光。
- 4.3.2.2 评定室内光线应暗而柔和，读图区域环境光光照度不应超过 30lx，并每半年检查一次。

4.4 设备与器材

4.4.1 X 射线机

- 4.4.1.1 根据被检零件的材料种类、检测厚度、检测技术级别等因素选择合适的 X 射线机。推荐选用焦点尺寸尽可能小的 X 射线机。
- 4.4.1.2 X 射线机的管电压、管电流、曝光时间应能连续可调，且保证射线输出稳定。
- 4.4.1.3 射线机应具有合格证或有关合格的证明文件。当电源电压波动超过±10%而影响射线机正常工作时，应装备稳压电源。

4.4.2 IP 读取器

- 4.4.2.1 IP 读取器应能读取所用的最大尺寸规格 IP 上的图像数据，并能够通过图像扫描分辨率选择调整读取图像的质量。
- 4.4.2.2 IP 读取器得到的数字图像位数应不少于 12bit。

4.4.3 存储磷光成像板 (IP)

- 4.4.3.1 应根据被检测对象的尺寸、结构特征和检测要求配备合适类别和不同尺寸的存储磷光成像板。
- 4.4.3.2 采用 B 级检测技术时应选用高分辨率 IP 板（蓝板）。
- 4.4.3.3 IP 应保持干净，并根据制造商要求清洁。IP 使用前应经过擦除。
- 4.4.3.4 装载 IP 的暗袋/暗盒应由对射线低吸收的材料制成，不对数字图像质量造成影响。

4.4.4 数字探测器阵列系统

应采用面阵列探测器，探测器模/数 (A/D) 转换位数不应低于 12bit。建议使用没有群集内核像素 (CKP) 的 DDA。

4.4.5 显示器

- 4.4.5.1 宜选择灰度显示器，最大亮度不低于 $250\text{cd}/\text{m}^2$ ；若使用彩色显示器，最大亮度不低于 $150\text{cd}/\text{m}^2$ 。
- 4.4.5.2 显示器像素数不少于 300 万，灰阶不少于 8bit (256 个灰度级)，像素间距不大于 0.250mm。
- 4.4.5.3 灰度显示器的最大亮度 (100% 数字驱动水平) 与最小亮度 (0% 数字驱动水平) 之比不小于 250:1，彩色显示器最大亮度 (100% 数字驱动水平) 与最小亮度 (0% 数字驱动水平) 之比不小于 150:1。

4.4.6 软件

- 4.4.6.1 系统软件至少应包括以下功能：窗宽/窗位调整、图像局部放大、任意区域灰度直方图、尺寸测量、计算指定区域的灰度平均值和标准偏差、生成线轮廓、显示探测器灰度值和显示器像素值、1:1 像素映射图像、显示图像缩略图等。
- 4.4.6.2 DDA 系统软件还应具备以下功能：平均多帧图像、坏像素校正、保存坏像素图的功能。
- 4.4.6.3 评判图像时，软件应支持添加并保存注释，且不应在原始图像数据有任何更改。
- 4.4.6.4 数字图像应以不损失图像信息的格式存储，推荐采用 DICOM 格式。

4.4.7 像质计

4.4.7.1 应根据射线检测工作需要和 HB 7684 要求配备不同材质(如铁、铝合金、钛合金等)的线型像质计。当客户有特殊要求时,应根据客户要求配备相应像质计。

4.4.7.2 应配备用于测试和评价图像分辨率的双线型像质计,双线型像质计应满足 GB/T 23901.5、ISO 19232-5 的要求。

4.4.7.3 像质计应无破损、折断、变形。

4.4.8 屏幕亮度计

屏幕亮度计用于测量显示器亮度,测量范围宜不小于 $0\sim 300\text{cd}/\text{m}^2$,应每半年校准一次。测量准确度应在标准读数的 $\pm 5\%$ 范围内。

4.4.9 白光照度计

白光照度计用于测量环境光光照度,测量范围至少应覆盖 $0\sim 301\text{x}$,并每半年校准一次。测量准确度应在标准读数的 $\pm 5\%$ 范围内。

4.5 零件

4.5.1 送交射线检测的工件应经表面检验合格。

4.5.2 送检前应清除妨碍检测和影响图像中缺陷影像辨识的多余物。应清除型砂、型芯、金属屑及油污。当要求 A 级技术时,切除后的浇、冒口余量不应超过透照部位厚度的 10%;当要求 B 级技术时,浇、冒口应完全切除。

4.6 检测时机

4.6.1 射线数字成像检测宜在热处理后或有利于缺陷检出的制造或装配阶段进行。若在热处理后需进行渗透或磁粉检测时,射线数字成像检测也可在热处理前进行。

4.6.2 射线数字成像检测应安排在具有产生延迟裂纹倾向的生产工艺之后,并在零件质量稳定后进行检测。

4.6.3 初次透照后,由于机械加工或其他加工方法使其厚度减少一半或更多且图样或相关的技术文件中又有要求时,应进行第二次检测。除非另有规定,两次检测应分别按加工前、加工后的检测厚度确定验收的质量等级。

4.7 检测工艺卡或规程

4.7.1 对批量生产的零件,应根据检测要求编制射线数字成像检测工艺卡或规程。

4.7.2 使用 CR 时,工艺卡或规程一般包括以下内容:

- a) 零件名称、零件类别、图号及材料牌号;
- b) 用工件草图或照片表示出 IP、工件、射线源和像质计的相对位置、射线束的投射方向、透照部位序号及部位划分规则;
- c) 射线机型号与射线源尺寸、滤波板材料及厚度;
- d) IP 型号、增感屏类型及厚度、扫描参数(必要时,像素尺寸、激光强度、激光焦点尺寸)等;
- e) 透照部位厚度及相应的曝光参数(焦距、管电压、管电流及曝光时间等);
- f) 射线数字成像检测技术级别;
- g) 不清晰度、灵敏度、 SNR_c 要求;
- h) CR 系统型号、显示器型号;
- i) 初始图像灰度范围;
- j) 图像处理方法;

- k) 像质计材料、类型；
 - l) 依据的检测方法标准和验收标准；
 - m) 签署及其他认为必要的事项。
- 4.7.3 使用 DDA 时，工艺卡或规程一般包括以下内容：
- a) 零件名称、零件类别、图号及材料牌号；
 - b) 用工件草图或照片表示出探测器、工件、射线源和像质计间的相对位置、射线束的投射方向、透照部位序号及部位划分规则；
 - c) 射线机型号与射线源尺寸、滤波板材料及厚度；
 - d) 放大比，探测器增益、单帧积分时间、帧数、像素尺寸等；
 - e) 透照部位厚度及相应的曝光参数(焦距、管电压、管电流及曝光时间等)；
 - f) 射线数字成像检测技术级别；
 - g) 不清晰度、灵敏度、SNR_v 要求；
 - h) DDA 型号、显示器型号；
 - i) 初始图像灰度范围；
 - j) 图像处理方法；
 - k) 像质计材料、类型；
 - l) 依据的检测方法标准和验收标准；
 - m) 签署及其他认为必要的事项。
- 4.7.4 检测工艺卡或规程应由 II 级及以上人员编制，并经 III 级人员审核或批准。工艺卡或规程格式可根据产品特点自行设计。
- 4.7.5 实际检测时应按工艺卡或规程的规定进行透照、IP 扫描，为获得更好的影像质量，允许检测人员作以下调整：
- a) 管电压不超过 $\pm 15\%$ ；
 - b) 曝光量不超过 $\pm 15\%$ ；
 - c) 管电压不超过 $\pm 5\%$ 且曝光量不超过 $\pm 10\%$ 。

5 工艺技术要求

5.1 透照方向

射线束一般应指向被透照部位的中心，并在该点与被透照区平面或曲面的切平面垂直。若不能从此方向透照或从此方向透照不利于缺陷的检出时，也可从其他合适的方向进行透照。

5.2 X 射线能量的选择

5.2.1 1000kV 及以下 X 射线机

5.2.1.1 为了保持良好的缺陷灵敏度，X 射线管电压应尽可能低，数字图像中的信噪比应尽可能高。X 射线管电压与穿透厚度的推荐最大值如图 1 所示。DDA 系统经过精确校正后，可以选择明显高于图 1 所推荐的管电压，并达到要求的图像质量。CR 系统进行 B 级技术检测，使用高分辨率 IP（蓝板）时，透照电压建议比图 1 中所示电压低 20%。普通 IP（白板）可以直接选择图 1 所示的管电压进行曝光。

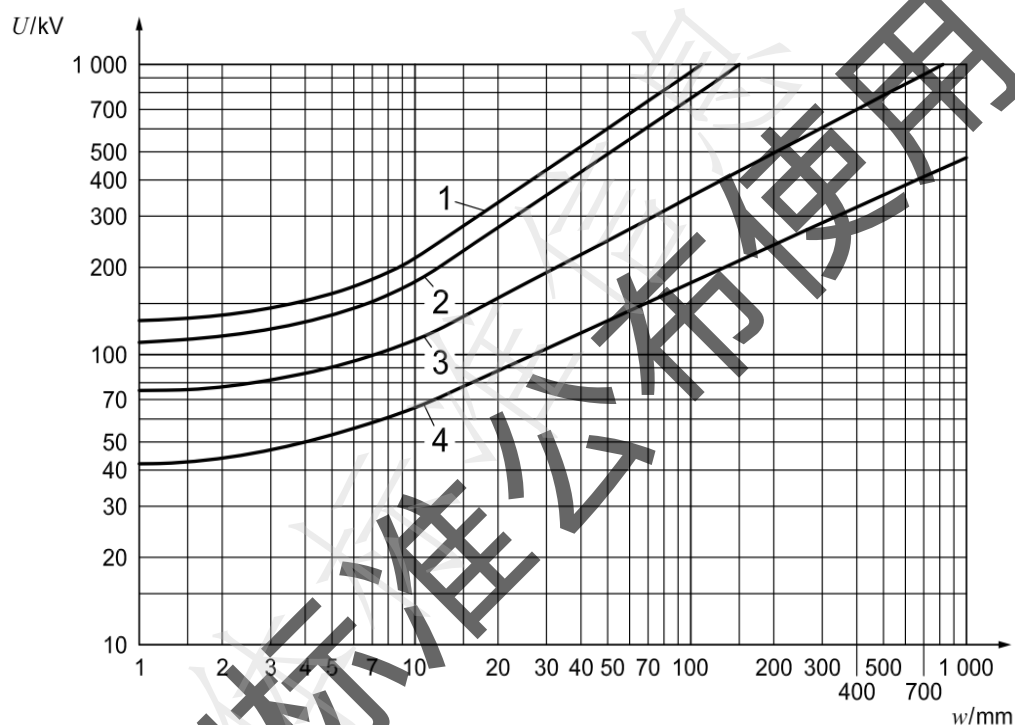
5.2.1.2 当检测厚度变化较大的零件时，可以适当提高透照电压，但过高的透照电压会导致缺陷检测灵敏度的下降。

5.2.2 1000kV 以上的 X 射线机

表 1 给出了 1000kV 以上 X 射线机的推荐穿透厚度范围。

表1 1MeV 以上 X 射线对于钢、铜及镍基合金的透照厚度范围

射线能量	透照厚度 T_A	
	mm	
	A 级	B 级
1 MeV~4MeV	30~200	50~180
>4 MeV~12MeV	≥50	≥80
>12MeV	≥80	≥100



U ——X 射线电压； w ——透照厚度；1——铜、镍及其合金；2——钢；3——钛及其合金；4——铝及其合金

图1 几种金属材料的最高允许管电压与厚度的关系

5.3 金属增感屏

对于 CR 系统，当使用金属增感屏时，IP 感光层和增感屏之间需接触良好。可以通过使用真空封装的 IP 或施加压力来实现。IP 后使用铅板减少背散射，铅板厚度通过试验确定。检测不同材料时的金属增感屏前屏要求见表 2 和表 3。

表2 CR 检测钢、铜、镍基合金时金属增感屏前屏要求

X 射线能量	增感屏 mm
≤50kV	-
50kV~250kV	0~0.1 (Pb)
250kV~1000kV	0~0.3 (Pb)
1~5MeV	0.3~0.8 (Fe 或 Cu) +0.6~2 (Pb)
>5MeV	0.6~4 (Pb)

当使用组合增感屏时，Fe 屏或 Cu 屏应放置在 IP 和 Pb 屏之间。
Fe 屏、Cu 屏可全部或部分替代 Pb 屏，但 Fe 屏、Cu 屏厚度应为使用 Pb 屏时的三倍。

表3 CR 检测铝、镁基合金时金属增感屏前屏要求

X 射线能量	增感屏 mm
≤150kV	≤0.03 (Pb)
150kV~250kV	≤0.2 (Pb)
250kV~500kV	≤0.2 (Pb)

5.4 射线源至物体间的最小距离 f_{min}

射线源至物体最小距离 f_{min} 取决于射线源尺寸 d 和物体至 IP 或 DDA 的距离 b 。在实际可能的情况下, f/d 不应小于式 (1) 和式 (2) 给定的数值。根据式 (1) 和式 (2) 确定 f_{min} 的方法制成的诺模图见图 2。

对于 A 级:

$$f/d \geq 7.5b^{2/3} \dots\dots\dots (1)$$

对于 B 级:

$$f/d \geq 15b^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

f ——射线源至物体距离, 单位为毫米 (mm);

d ——射线源尺寸, 单位为毫米 (mm);

b ——物体射线源侧表面距 IP/DDA 的距离, 单位为毫米 (mm)。

5.5 几何放大技术

5.5.1 当图像单丝像质计灵敏度和/或空间分辨率不满足本标准要求是, 可以采用几何放大技术。几何放大技术需使用小焦点的 X 射线源, 增加待检零件距离 IP/DDA 的距离, 提高放大倍数。

5.5.2 放大比倍数 M 按公式 (3) 计算:

$$M = \frac{SDD}{f} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

SDD ——射线源到 IP/DDA 距离, 单位为毫米 (mm);

f ——射线源到物体的距离, 单位为毫米 (mm)。

5.5.3 对于特定的检测系统, 最佳放大倍数 M_{opt} 按公式 (4) 计算:

$$M_{opt} = 1 + \left(\frac{2SR_b}{d} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

SR_b ——放大比为 1 时的基本空间分辨率, 将双丝像质计紧贴 IP/DDA 进行成像测得, 单位为毫米 (mm);

d ——射线源尺寸, 单位为毫米 (mm)。

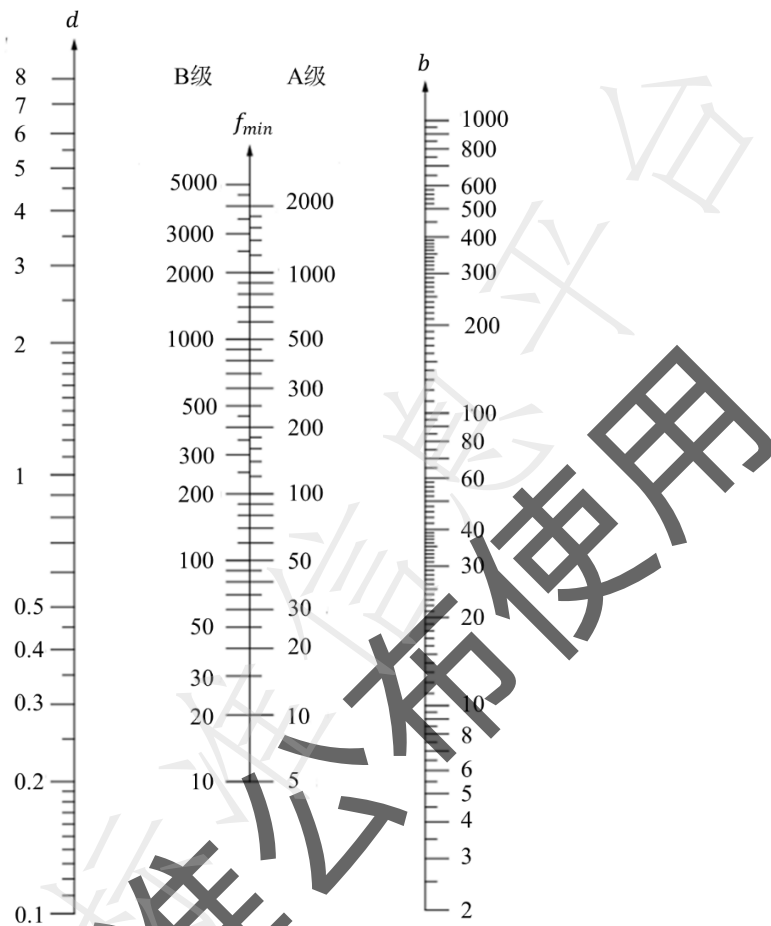


图2 确定射线源至物体间的最小距离 f_{min} 的诺模图

5.6 图像灰度

初始图像有效评定区内的数字图像灰度建议控制在系统灰度范围的 20%~80%之间。检测厚度不均匀的铸件时，在图像质量满足要求的前提下，可适当放宽有效评定区的图像灰度范围。

5.7 散射线的防护

5.7.1 一般原则

对工件进行透照时，可利用丸粒、补偿液、补偿膏、铅板等屏蔽物对非透照区进行遮挡。也可用铅制光阑或锥形罩将射线束限制在透照区范围内。

5.7.2 背散射的防护

使用 CR 检测时，为防止背散射的有害影响，暗盒/暗袋背面应衬以铅板。编制工艺时须通过试验验证背散射防护的有效性，实验方法为：透照时在暗盒/暗袋与铅板之间放一个铅字“B”（“B”的高度 $\geq 10\text{mm}$ 、厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ），铅字“B”应位于零件下方，若在数字图像上出现灰度值较低的铅字“B”的灰度值影像（负片），则说明背散射防护不足，应增加铅板的厚度。

5.7.3 滤波板的使用

为了降低低能散射线的影响,可在射线源窗口处放置铜或铅制滤波板。滤波板的厚度一般根据材料种类、厚度变化范围及射线的能量等因素,通过试验加以确定。

5.8 像质计的放置

5.8.1 使用单线型像质计和双线型像质计评价图像质量。对于批量检测的零件,可在每个批次每个检测部位的首次和末次透照时放置像质计。

5.8.2 通常情况下,单线型像质计应放置在工件射线源侧表面上,并靠近被检区的边缘,其最细丝居于外侧。对于厚度均匀的铸件,在数字图像上所发现的线型像质计最细丝应全长可见;对于厚度不均匀的铸件,或者因结构原因难以在工件上放置线型像质计时,可使用同材质的阶梯试块来验证灵敏度,阶梯试块厚度应包含受检区厚度范围,且应在对应工件最大和最小厚度的阶梯上放置线型像质计。

5.8.3 双线型像质计放置在铸件靠近射线源侧表面、均匀厚度区域内,铸件受检区厚度不均匀或铸件源侧不便于放置双线型像质计时,可使用同材质的试块进行测量,试块厚度应不小于受检区最大厚度。双线型像质计与DDA探测器阵列的行或列、CR检测扫描方向垂直或平行的两个方向呈 2° ~ 5° 的夹角。可识别的线对判定方法见附录A。

5.9 标记

5.9.1 定位标记

对于需要多次透照且透照部位存在搭接的情况,应使用搭接标记“↑”,各检测部位搭接区域不小于10mm。

5.9.2 识别标记

5.9.2.1 识别标记应至少包括工件编号、检测部位顺序号及检测日期等。

5.9.2.2 对于返修件,应在上述识别标记后加“R1, R2, ……”,表示返修后的检测,数字“1, 2, ……”表示返修次数。

5.9.2.3 标记影像应尽可能不掩盖底片评定区的影像。

5.10 过程控制

5.10.1 图像的扫描和读出

射线数字成像检测图像应无因操作、处理或其他干扰因素造成的伪影。对于CR系统,根据数字探测器或IP扫描仪制造商建议的条件使用探测器或扫描仪,以获得理想的图像质量。曝光后的IP应及时扫描,最多不超过6h。

5.10.2 图像处理

对采集的数字图像可进行适当的调整以获得最佳的图像质量,如灰度范围调节、对比度增强、连续帧叠加、亮度调节、锐化等图像处理方法优化图像的显示效果,但任何处理方法不得改变采集的原始图像。

5.10.3 图像评定

5.10.3.1 检测人员进行图片评定之前应有一定的暗室适应时间,从明亮的阳光下进入读图室至少5min,从一般光线的房间进入读图室,至少3min。

5.10.3.2 需参考标准缺陷图像进行缺陷分级时,评定软件应可将参考图像调整为与检测图像相同的空间分辨率并对比显示。

5.11 影像质量

5.11.1 通过图像归一化信噪比、可识别的单线型像质计最细丝的编号或直径以及图像不清晰度评价影像质量。影像质量的判定只能在经过图像处理之前的原始图像上进行，判定过程中可调整图像窗宽和窗位。

5.11.2 图像归一化信噪比应在双线型像质计附近且灰色值均匀区域测量。若零件厚度不均匀，不宜在零件上放置像质计，像质计可放在同质材料的试块上，试块厚度应不小于零件最大厚度，测定区域不小于 (50×50) 像素。图像最小归一化信噪比(SNR_N)要求参见表4和表5。

表4 检测钢、铜、镍基合金时的最小归一化信噪比(SNR_N)

X射线能量	透照厚度 mm	A级最小 SNR_N	B级最小 SNR_N
$\leq 50\text{kV}$	-	100	150
50kV~150kV		70	120
150kV~250kV		70	100
250kV~1000kV	≤ 50	70	100
	> 50	70	70
$> 1\text{MeV}$	≤ 100	70	100
	> 100	70	70

表5 检测铝、镁基合金时的最小归一化信噪比(SNR_N)

X射线能量	A级最小 SNR_N	B级最小 SNR_N
$\leq 150\text{kV}$	70	120
150kV~500kV	70	100

5.11.3 单线型像质计应发现的最细线径和线号应符合表6的规定。

5.11.4 A级和B级影像质量可允许的最大图像清晰度见表7和表8。

5.11.5 通常状况下，线型像质计灵敏度和图像不清晰度应同时满足要求。如果不能同时达到规定值时，可通过提高灵敏度进行补偿，补偿规则分为三级。一级补偿是提高单线型像质计灵敏度一级来补偿图像分辨率值低一级，如要求值为D12和W6，则认为D11和W17可提供等价的检测灵敏度；二级补偿是提高单线型像质计灵敏度二级来补偿图像分辨率值低二级；三级补偿是提高单线型像质计灵敏度三级来补偿图像分辨率值低三级。

表6 单线型像质计像质要求

应发现的最细线号	线径 mm	透照厚度 T_A mm	
		A级	B级
19	0.050	-	≤ 1.5
18	0.063	≤ 1.2	$> 1.5 \sim 2.5$
17	0.080	$> 1.2 \sim 2$	$> 2.5 \sim 4$
16	0.100	$> 2 \sim 3.5$	$> 4 \sim 6$
15	0.125	$> 3.5 \sim 5$	$> 6 \sim 8$
14	0.16	$> 5 \sim 7$	$> 8 \sim 12$
13	0.20	$> 7 \sim 10$	$> 12 \sim 20$
12	0.25	$> 10 \sim 15$	$> 20 \sim 30$
11	0.32	$> 15 \sim 25$	$> 30 \sim 35$
10	0.40	$> 25 \sim 32$	$> 35 \sim 45$

表6 (续)

应发现的最细线号	线径 mm	透照厚度 T_A mm	
		A 级	B 级
9	0.50	>32~40	>45~65
8	0.63	>40~55	>65~120
7	0.80	>55~85	>120~200
6	1.00	>85~150	>200~350
5	1.25	>150~250	>350
4	1.60	>250	-

表7 A 级图像质量时允许的最大图像不清晰度

透照厚度 w mm	双丝像质计要求丝号及最大不清晰度 mm	最大基本空间分辨率 (等效于线对尺寸及间隔) SR_b^{image} mm
$w \leq 1.0$	D13 0.10	0.05
$1.0 < w \leq 1.5$	D12 0.125	0.63
$1.5 < w \leq 2$	D11 0.16	0.08
$2 < w \leq 5$	D10 0.20	0.10
$5 < w \leq 10$	D9 0.26	0.13
$10 < w \leq 25$	D8 0.32	0.16
$25 < w \leq 55$	D7 0.40	0.20
$55 < w \leq 150$	D6 0.50	0.25
$150 < w \leq 250$	D5 0.64	0.32
$w > 250$	D4 0.80	0.40

表8 B 级图像质量时允许的最大图像不清晰度

透照厚度 w mm	双丝像质计要求丝号及最大不清晰度 mm	最大基本空间分辨率 (等效于线对尺寸及间隔) SR_b^{image} mm
$w \leq 1.5$	D13+ 0.08	0.04
$1.5 < w \leq 4$	D13 0.10	0.05
$4 < w \leq 8$	D12 0.125	0.63
$8 < w \leq 12$	D11 0.16	0.08
$12 < w \leq 40$	D10 0.20	0.10
$40 < w \leq 120$	D9 0.26	0.13
$120 < w \leq 200$	D8 0.32	0.16
$w > 200$	D7 0.40	0.20

5.12 检测记录

5.12.1 图像保存

5.12.1.1 检测图像应编号以不损失图像信息的格式(如 DICONDE)存储保存,保存期限可根据具体情况或相关规定执行。

5.12.1.2 检测图像应及时备份。

5.12.2 检测记录

检测记录可根据产品特点自行设计,一般包括下列内容:

- a) 检测记录编号、报告编号、工艺卡或规程编号;
- b) 零件名称、零件类别、图号、编号及数量;
- c) 材料牌号;
- d) 检测图像编号、图像质量;
- e) 评定结果;
- f) 检测人员、审核人员及日期等。

5.13 检测报告

5.13.1 检测报告的格式可自行设计。一般包括下列内容:

- a) 原始记录编号、报告编号;
- b) 零件名称、零件类别、图号、编号及数量;
- c) 材料牌号;
- d) 验收标准;
- e) 超标缺陷的类型及尺寸或级别;
- f) 评定结论;
- g) 评片者、审批者及日期等。

5.13.2 应由 II 级或 III 级射线检测人员按产品的质量验收标准或技术条件对符合要求的图像进行评定和审核,并签发检测报告。

5.13.3 检测报告应归档保存,保存期限可根据具体情况或质检部门的规定执行。

5.14 检测后零件的处理

5.14.1 不合格件

不合格件应与合格件隔离放置,并设明显的标记。然后按有关质量控制文件规定的程序进行处理。

5.14.2 合格件

合格件应做出适当标记。标记的方法和位置应对工件的使用性能无影响,且在后续加工中不被去除或污损。若后续加工会去除所作的标记时,应在工件的检测报告中用文字或符号加以说明。

6 质量控制要求

6.1 一般要求

使用单位应对所使用的射线数字成像系统的初始性能进行测试,为后续监控系统性能提供基准数据,并定期测量系统性能。当系统性能测试结果发现因日常使用或损坏导致图像质量降级时,由 III 级人员

判断该系统是否还可用于产品检测，若不符合，应对系统进行调整或维修，调整或维修后应进行系统性能测试。仪器设备、环境条件控制要求见附录B。

6.2 系统基本不清晰度测试

- 6.2.1 使用满足 GB/T 23901.5、ISO19232-5 要求的双线型像质计测定系统基本不清晰度。
- 6.2.2 应测定 DDA 阵列行与列、CR 检测扫描方向垂直及平行的两个方向的系统基本不清晰度。测试时双线型像质计直接放置在 DDA 阵列或 IP 板暗盒上，若使用两个双线型像质计，透照时两个像质计垂直放置，其中一个像质计与 DDA 阵列行或 CR 扫描方向成 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 放置；若使用一个双线型像质计，则应曝光两次，双线型像质计分别与 DDA 阵列行与列、CR 检测扫描方向垂直及平行的两个方向成 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。
- 6.2.3 测定系统基本不清晰度时，射线源至 IP/DDA 的距离应为 $100\pm 5\text{cm}$ 。检测低密度材料的系统，测试时使用 1mm 铝滤波板，透照电压设置为 90kV；检测厚度不大于 20mm 高密度材料的系统，测试时使用 1mm 铜滤波板，透照电压设置为 160kV；检测厚度大于 20mm 高密度材料的系统，测试时使用 2mm 铜滤波板，透照电压设置为 220kV。通过调节管电流，使图像的平均灰度值超过最大灰度值的 50%。像素尺寸为 $80\mu\text{m}$ 的系统，图像信噪比应超过 100；像素尺寸小于 $80\mu\text{m}$ 的高分辨率系统，信噪比应超过 70。
- 6.2.4 垂直和平行两个方向不清晰度较大的值，作为系统的基本不清晰度。
- 6.2.5 使用中每月测定系统基本不清晰度。

6.3 显示器测试

- 6.3.1 使用中的显示器应每月按要求对低对比度（1%）识别和水平/垂直线性、灰阶识别、图像边界、高频波动和失真度测试、最大亮度和对比度测试等性能指标进行测试。
- 6.3.2 灰度显示器测试方法见附录 C，彩色显示器测试方法参考附录 C。

6.4 IP 一致性测试

- 6.4.1 根据设备及实际检测对象，制作 IP 一致性测试试块，编制 IP 一致性测试工艺卡，推荐透照布置见图 3。单线型像质计灵敏度应满足工艺卡或规程要求，试块处灰度值应覆盖高、中、低三个灰度范围。每次测试试块位置应保持不变。
- 6.4.2 应在初始生产使用前选择一块新 IP 进行 6.4.1 中的测试，并作为标准图像。新采购 IP 在投入测试使用前、使用中应每月进行一致性测试，试块部位灰度值与标准图像相差应在 $\pm 5\%$ 范围内。

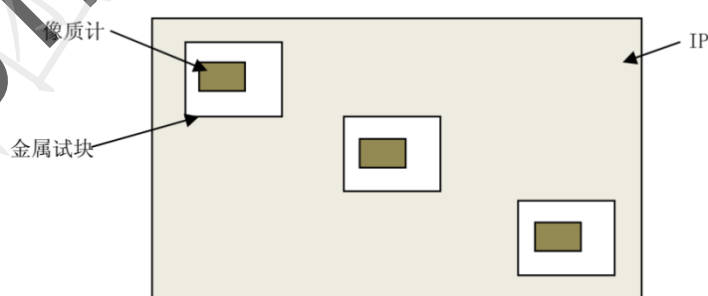


图3 IP 一致性测试透照布置

6.5 DDA 校准

- 6.5.1 在系统正常使用时，每三个月应根据制造商推荐的方法校准 DDA。当图像质量异常、系统长时间未使用、基本空间分辨率发生变化、检测场所变化或在影响成像质量的维修后，应重新对 DDA 进行校准。

6.5.2 应使用暗场图像（无射线）和至少一个增益图像（X射线打开并均匀曝光）进行 DDA 校准。为了将校准时产生的噪声降至最低，所有校准图像的曝光剂量应至少为检测时所用剂量的两倍。校准后的图像应作为原始图像。如果曝光条件发生显著变化，应重新进行校准。

6.6 评定室光照度

每半年测量一次评定室光照度。应关闭显示器，在显示器前进行测量。

附录 A
 (规范性附录)
 图像不清晰度测量方法

A.1 概述

使用双线型像质计测定图像不清晰度时，以可识别最后一个线对为图像不清晰度。

A.2 判定方法

A.2.1 沿双线型像质计图像中部（线对长度方向的 30%~60% 部位）绘制一条直线（如图 A.1），直线宽度不小于像质计宽度的 60%，得到该直线的灰度变化曲线（如图 A.2）。

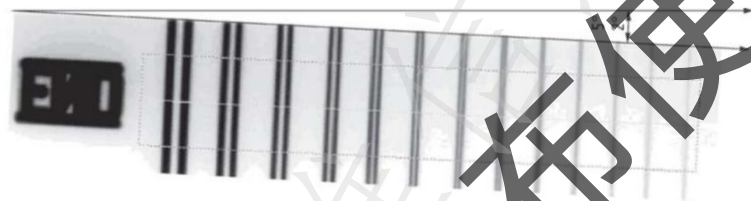


图 A.1 双线型像质计的数字图像

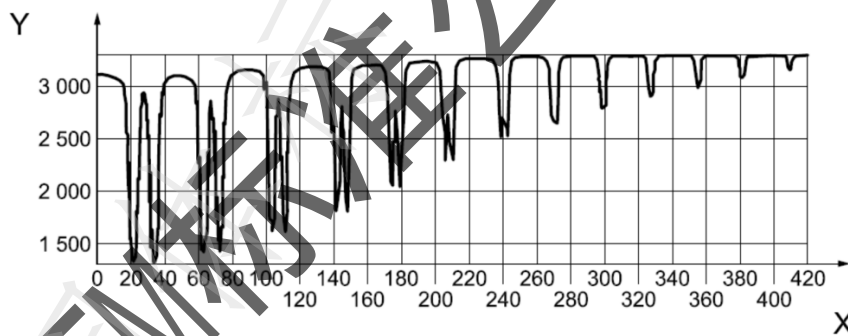


图 A.2 双线型像质计灰度变化曲线图

A.2.2 按图 A.3 所示，按公式 (A.1) 计算线对的可识别率 S:

$$S = \frac{(A+B-2C)}{(A+B)} \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

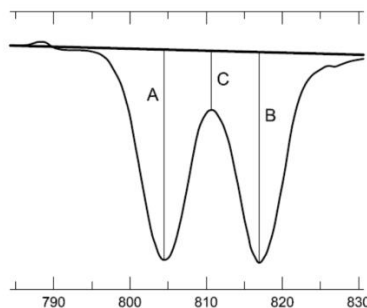


图 A.3 可识别率 S 的计算方法图

A. 2. 3 第一个 $S < 20\%$ 的线对作为该图像的不清晰度，如图 A. 4 中 D8。

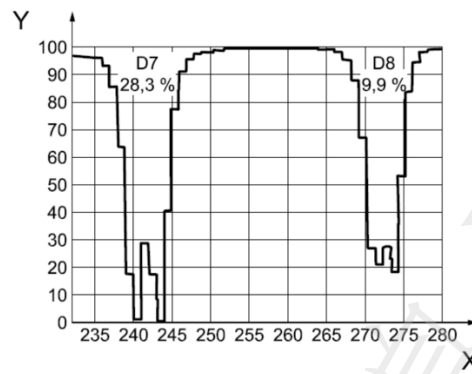


图 A. 4 D7 和 D8 线对灰度变化曲线方法图

附 录 B
(规范性附录)
仪器设备、环境条件控制要求

B.1 检测仪器设备的控制要求

仪器设备的控制要求见表 B.1。

表 B.1 仪器设备的控制要求

序号	仪器设备	控制内容	周期	相关条款
1	显示器	低对比度（1%）识别和水平/垂直线性、灰阶识别、图像边界、高频波动和失真度测试、最大亮度和对比度测试等	每月	4.4.5 6.3
2	屏幕亮度计	屏幕亮度计测量范围宜不小于 0-300cd/m ² ，测量准确度应在标准读数的±5%范围内	每半年	4.4.8
3	白光照度计	白光照度计测量范围至少应覆盖 0-30lx，测量准确度应在标准读数的±5%范围内	每半年	4.4.9
4	检测系统	系统基本不清晰测试	每月	6.2
5	IP 板	一致性测试	每月	6.4

B.2 检测相关设施环境条件的监控要求

检测相关设施环境条件的监控要求见表 B.2。

表 B.2 检测相关设施环境条件的监控要求

相关设施	监控内容	指标要求	相关条款	周期
评定室	环境光光照度	读图区域环境光光照度不应超过 30lx	4.3.2、6.6	每半年

附录 C
(资料性附录)
灰度显示器测试方法

C.1 测试样板

显示器测试样板宜采用 SMPTE RP133。

C.2 低对比度 (1%) 识别和水平/垂直线性

C.2.1 应能识别出测试图样四个角落和中心的水平和垂直调制度 (1%)，水平和垂直两个方向对比度不混叠 (所有直线应当是连续的、没有任何位移)。

C.2.2 将测试图样的①区域位置放大至全屏状态。

C.2.3 通过黑白互换，在黑、白两种模式下均能识别出①区域位置的水平和垂直调制模块。

C.3 灰阶识别

在测试图样的②区域位置，应清晰识别出在 0% 的数字驱动水平 (DDL) 背景下 5% 的模块及在 100% 的 DDL 背景下 95% 的模块。

C.4 图像边界

应对测试图样的边界线完全识别，如测试图样③区域位置的全部边界线。

C.5 高频波动和失真度测试

在黑白两种模式下均应能识别出④区域位置黑白信号，并均能长时间保持一个状态，图像无失真状态。

C.6 最大亮度和对比度测试

C.6.1 将显示屏的亮度调至最大，采用亮度计测试在 100% 数字驱动水平 (DDL) 背景下的屏幕亮度，测试值应不低于 $250\text{cd}/\text{m}^2$ 。

C.6.2 分别测试 100% 数字驱动水平 (DDL) 背景和 0% 数字驱动水平 (DDL) 背景的屏幕亮度值，其比值应不小于 250:1。

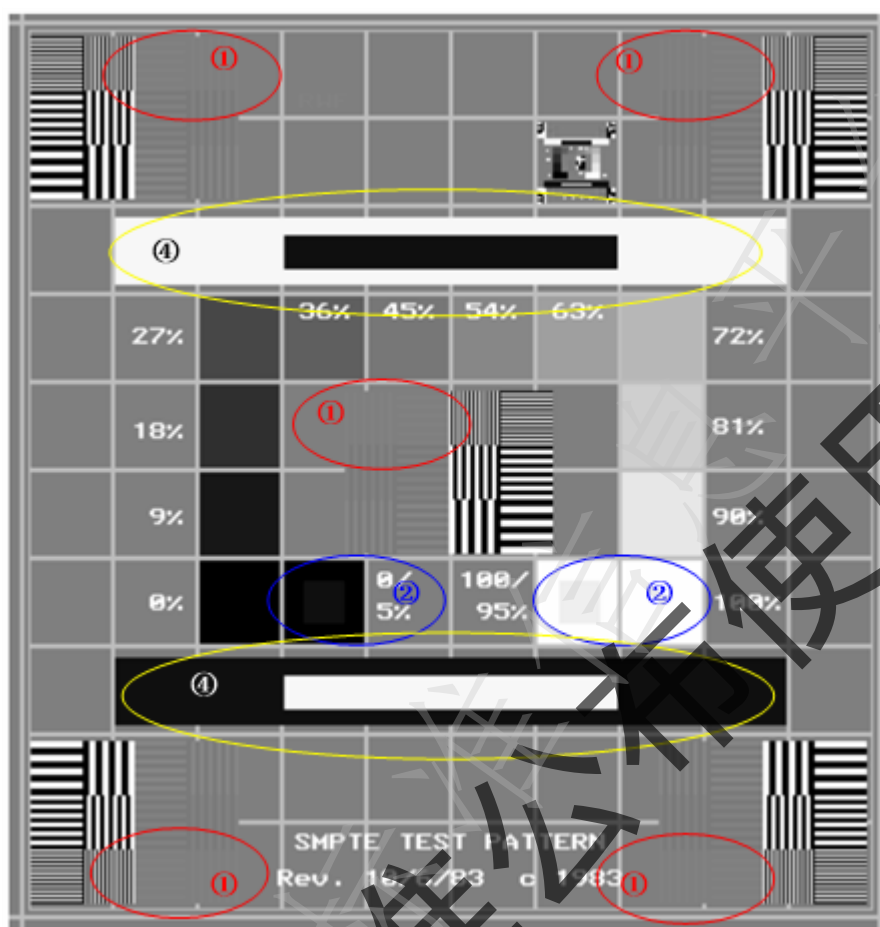


图 C.1 测试图样测试区域示意图

附 录 D

(资料性附录)

本标准负责起草单位：中国航发北京航空材料研究院。

本标准参与起草单位：南昌航空大学。

本标准主要起草人：史亦韦、王倩妮、何方成、鄂冠华、陈子木、马海全。

CSTM标准公布使用