

特种设备射线检测底片数字化技术规范

Technical Specification for Digitization of Radiographic Testing Films
of Special Equipment

征求意见稿

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

目 次

前言 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 2

5 射线底片交接 4

6 射线底片数字化过程控制 4

7 数字化底片管理 5

8 管理信息系统 6

附录 A（资料性） 射线底片数字化系统影像质量测定方法 7

附录 B（资料性） 射线底片数字化信息采集表 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由北京市市场监督管理局提出并归口。

本文件由北京市市场监督管理局组织实施。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

特种设备射线检测底片数字化技术规范

1 范围

本文件规定了特种设备射线检测底片数字化实施的一般规定、射线底片交接、射线底片数字化过程控制、数字化底片管理、管理信息系统等相关要求。

本文件适用于锅炉、压力容器、压力管道等特种设备焊接接头检测的射线底片数字化工作的实施、存储及管理。其他设备的射线检测底片的数字化可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 19802 无损检测 工业射线观片灯最低要求

GB/T 26141.1 无损检测射线底片数字化系统的质量鉴定 第1部分：定义、像质参数的定量测量、标准参考底片和定性控制

GB/T 26141.2 无损检测射线底片数字化系统的质量鉴定 第2部分：最低要求

GB/T 28266-2012 承压设备无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法

3 术语和定义

GB/T 26141.1、GB/T 26141.2、NB/T 47013.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

射线底片数字化系统 radiographic film digitisation system

通过一个光学探测器对射线底片中的小区域(像素、图像单元)的漫透射率进行探测，输出电信号（几何数字化），再把上述电信号转换成一个数字化值（光密度数字化）的系统。

3.2

数字化 digitize

将许多复杂多变的模拟信息转变为可以度量的数字、数据，再以这些数字、数据建立起适当的数字化模型，把它们转变为一系列二进制代码，引入计算机内部，进行统一处理。

3.3

数字化底片 digital film

通过射线底片数字化系统按照一定的技术要求，对射线底片进行扫描形成的图像数据文件。

3.4

数字分辨率 digital resolving power

数字化仪中用于光密度数字化的模/数转换部分所提供的位数，也称为用位数表示的数字分辨率。
注：N位数字分辨率对应着 2^N 的数字值。

3.5

标准参考底片 standard reference film

由一张工业射线底片做成，底片上有数字分辨率不同的平行线对、汇聚线对，密度不同叠加的方块，沿着方向排列的密度变化的方块，测量刻度等一系列测试目标，用于评价射线底片数字化系统的不同参数。

4 一般规定

4.1 人员要求

4.1.1 射线底片数字化系统校准人员

应按照国家特种设备无损检测人员考核的相关规定取得射线检测Ⅱ级及以上资格，且经过底片数字化系统校准工作技能培训。

4.1.2 射线底片数字化人员

应经过相关专业技能培训，具有对射线底片和数字化图像信息有专业的识别的能力。

4.1.3 数字化底片质量评定人员

应按照国家特种设备无损检测人员考核的相关规定取得射线检测Ⅱ级及以上资格，同时应经过底片质量评定软件使用培训。

4.2 系统、设备要求

4.2.1 射线底片数字化系统

4.2.1.1 系统技术参数应符合 GB/T 26141.1 及 GB/T 26141.2 标准的 DS 级要求，或符合 GB/T 28266-2012 的 B 级要求。具体要求如下：

- a) 光学密度范围 0.5-4.5。
- b) 数字分辨率 $\geq 12\text{bit}$ （灰度）。
- c) 密度对比度灵敏度 ≤ 0.02 。

4.2.1.2 系统直接输出的数字化底片宜采用 GB/T 30821 标准规定的 DICONDE 格式，或其他满足数据信息要求的格式。

4.2.1.3 系统进片机构应为无损动态进片方式，确保数字化过程中不划伤底片。

4.2.1.4 应提供每台射线底片数字化系统的出厂合格证及技术测试验证报告。

4.2.1.5 应采用标准参考底片对系统进行技术测试验证，保证满足相应的技术要求。达到以下要求时应进行常规验证：

- a) 在每一个工程项目首次扫描底片时；
- b) 射线底片数字化系统在故障维修后；

c) 技术人员对扫描结果有怀疑时。

4.2.1.6 每 12 个月应对仪器进行一次扩展验证。扩展验证应在射线底片数字化系统规定的最大空间分辨力下和所有的工作模式下进行。

4.2.1.7 常规验证及扩展验证参照附录 A 相关要求进行，并保存相关验证记录。

- a) 常规验证指使用检测软件，在规定的范围内，对射线底片数字化系统的相关参数进行检查，以确认系统的相关功能符合要求。包含：空间分辨力验证、密度对比灵敏度验证、空间线性验证、密度范围验证。
- b) 扩展验证指使用检测软件，在被检射线底片数字化系统固定的最大空间分辨力下和所有的工作模式下进行的一系列验证工作，确保射线底片数字化系统能够满足 GB/T 26141.2 中规定的各项指标的最低要求。包含：空间分辨率验证、不清晰度验证、数字伪像验证、几何图像变形验证。

4.2.2 数字化底片质量评定软件

4.2.2.1 应能打开 DICONDE 等相关格式的文件。

4.2.2.2 应至少具有图像显示、缩放、亮度及对比度调整、分辨率查询、尺寸及黑度测量等功能。

4.2.3 计算机及显示器

4.2.3.1 计算机硬件应能满足数字化底片评定软件安装及使用要求。

4.2.3.2 底片数字化系统所使用的计算机显示器屏幕亮度应不低于 600nit，屏幕分辨率不得低于 1366 × 768px。

4.2.3.3 数字化底片评定用显示器应采用不低于 12bit 的灰阶显示器。

4.2.4 观片灯

使用的观片灯主要性能应符合 GB/T 19802 的有关规定，最大亮度应能满足评片要求。

4.2.5 黑度计

黑度计可测的最大黑度应不小于 4.5，测量值误差应不超过 ± 0.05 。

4.3 环境要求

4.3.1 射线底片保存室

4.3.1.1 应配备温湿度监控设备，并保证温度在 25℃ 以下，湿度在 20%–50% 范围内。通风设备功能良好；

4.3.1.2 应严禁烟火，并配备消防器材和火灾报警系统。

4.3.2 数字化扫描室

4.3.2.1 应相对独立，和其它办公区、饮水区、会议区分离。

4.3.2.2 应具备温控除湿、防强光等设备设施，并保证温度在 25℃ 以下，湿度在 20%–50% 范围内。

5 射线底片交接

5.1 射线底片数字化前的交接

5.1.1 检验检测机构应保证所提交的射线底片质量符合相关检测标准要求。

5.1.2 检验检测机构在完成射线照相并对射线底片进行整理、排序后，应及时通知委托单位。

5.1.3 检验检测机构向底片数字化实施单位提交射线底片及台帐。其中，台帐内容至少包括检测公司名称、项目名称、标段（区域）、焊接接头编号、射线底片数量、返修片信息、档案盒编号、射线底片评片信息表。

5.2 射线底片数字化后的交接

底片数字化实施单位应在底片数字化过程结束后将射线底片及时返还检验检测机构，并进行确认签字后告知委托单位。

6 射线底片数字化过程控制

6.1 一般要求

6.1.1 射线底片数字化实施单位应安排射线底片数字化人员操作射线底片数字化系统。

6.1.2 数字化底片中所能分辨的最细像质计丝应与相应射线底片一致，并满足底片评定的要求。

6.1.3 除底片有效评定区外，搭接部位也要进行扫描，以确保数字化底片的完整性。

6.1.4 数字化底片扫描结果应与底片一一对应，一个扫描文件对应一张射线底片。数字化底片的正方向应以保持铅字正向为准，不得逆向、反向扫描并保存。

6.1.5 底片数字化前应对射线底片存在的明显伪缺陷，如划伤、腐蚀等做好记录。

6.1.6 工作时应采取有效措施，避免指纹、汗渍在底片上留下痕迹，避免底片弯折、褶皱，损坏原始底片。

6.2 射线底片数字化系统设置

6.2.1 射线底片数字化系统在进行底片扫描时扫描分辨率设置应不低于 400dpi，数字分辨力设置应不低于 12bit。

6.2.2 对于采用不同射线能量获得的射线底片，进行扫描时射线底片数字化系统的数字分辨力设置应不低于表 1 的要求。

6.3 数字化底片质量控制

6.3.1 应对扫描数字化底片建立“射线底片数字化信息采集表”（见附录 B）；并及时将相关信息按要求进行填写，并与相对应的数字化底片一并保存。

6.3.2 每扫描 4 小时应抽取一幅数字化底片与原底片进行比对，任意三处黑度值与原底片偏差应不大

于 0.2。若底片黑度值不合格，则应将该射线底片数字化系统检查前的所有数字化底片进行检查比对，不符合的重新进行底片数字化，并将相关情况记录在“射线底片数字化信息采集表”（见附录 B）内。

表 1 射线底片数字化系统数字分辨力设置要求

射线底片检测时的能量/Kev	DS 级	
	像素尺寸/ μm	MTF20%/(lp/mm)
≤ 100	15	16.7
$> 100\sim 200$	30	8.3
$> 200\sim 450$; Se-75、Yb-169	60	4.2
Ir-192	100	2.5
Co-60, $> 1\text{MeV}$	200	1.25
注 1：能量低于 70KeV，射线底片空间分辨力可以比级别 DS16.7 所要求的扫描仪分辨力要更好一些。在此情况下，扫描仪的空间分辨力应与底片的分辨力适合，或射线底片的原件应归档。 注 2：MTF：对空间光学密度边扩展函数（ESF）的微分进行傅里叶变换，归一化其幅值，就可以得到 MTF。它描述射线底片数字化系统的不清晰度函数。		

6.4 数字化底片质量评定

6.4.1 质量评定人员应在每个项目或无损检测标段扫描完成的前 100 张底片作为质量评价依据，并将其与原射线底片进行 100%比对，完全符合后，之后的比对比例可降至 10%，若不能完全符合，则应再抽取 100 张进行比对，直至完全符合后比对比例可降至 10%。对于不符合的应重新进行扫描。

6.4.2 数字化底片质量评定标准按照项目设计规定的标准要求评定。

6.4.3 数字化底片质量评定人员应按规定出具相应的数字化底片质量评定报告。

7 数字化底片管理

7.1 存储

7.1.1 数字化底片应以 DICONDE 格式进行存储，并可使用 tiff、bmp、png、jpg 等其中一种格式用于常规预览和检索。

7.1.2 数据文件按照要求存放在指定计算机内。

7.1.3 数字化底片文件命名应与原底片一致，保证能够一一对应。

7.1.4 不应将同一道口的多张射线底片连续数字化后保存为一个文件。

7.2 交付

- 7.2.1 底片数字化实施单位应保证原始射线底片及相应资料的完整性，并在扫描完后交回原单位。
- 7.2.2 交付的内容包含数字化底片、射线底片数字化信息采集表及数字化底片质量评定报告。
- 7.2.3 数据文件移交时应保证内容完整、安全，移交方式可采用网络或移动存储设备。

8 信息系统

- 8.1 底片数字化实施单位应保证“射线底片数字化信息采集表”数据格式的一致性，并为后续搭建的数据库或其他统一信息存储平台提供数据支持。
- 8.2 数据库应使用开放式端口，保证数据上传、审核、验收及评定的时效性。

附 录 A

(资料性)

射线底片数字化系统影像质量测定方法

A.1 射线照相底片数字系统评定指标

以下为射线照相底片数字系统性能评定常用指标，本附录用于指导这些指标的详细操作。

- a) 空间分辨率评定
- b) 光学密度范围(DR) 评定
- c) 密度对比度灵敏度 (DCS) 评定
- d) 线性度评定
- e) 数字分辨力/灰度评定

A.2 评定过程需采用的相关软硬件

- a) 使用工具

分析软件：具备评定空间分辨率、光学密度范围、密度对比度灵敏度、线性度、数字分辨力/灰度等参数的软件。

参考底片：美国ASTM标准底片，见图A.1所示。

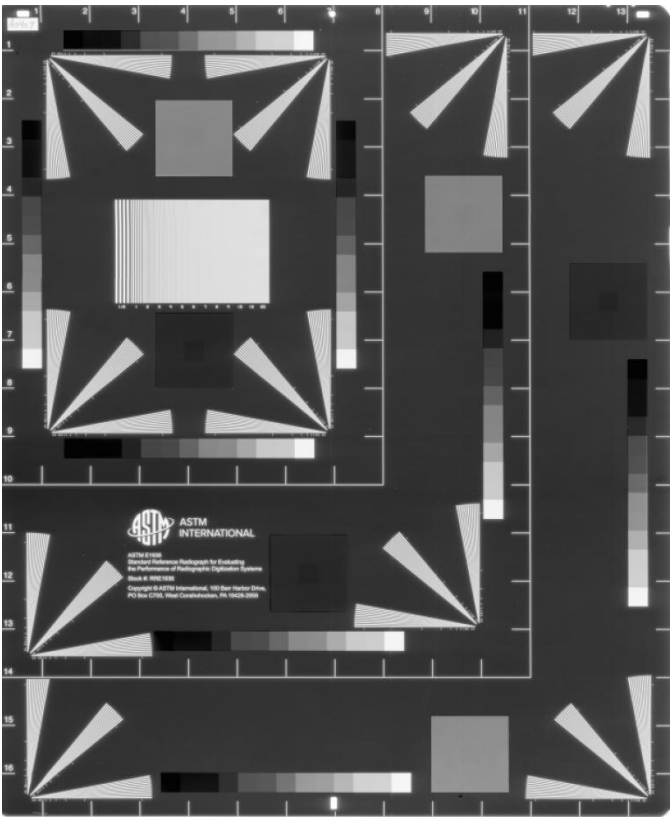


图 A.1 ASTM 标准测试卡

- b) 测试片准备

使用拟测试的射线照相底片数字化系统扫描一张参考测试片备用，扫描参数应设置为：分辨率：600dpi;分辨力： $\geq 12\text{bit}$ ；有效密度范围：0.5~4.5D。

A.3 空间分辨率评定方法

A.3.1 聚合线对测量

使用软件中的性能分析工具，分别在扫描的参考测试片四角的3个聚合线对附近标记为5（4~5之间靠近5）和9之间（8~9之间靠近9）各拉一条线段，通过目视，如果6条亮线和暗线聚合线对能清晰分辨，即表明其空间分辨率为对应的标记数值，取各脚测量的最小值，参见图A.2、图A.3、图A.4所示。

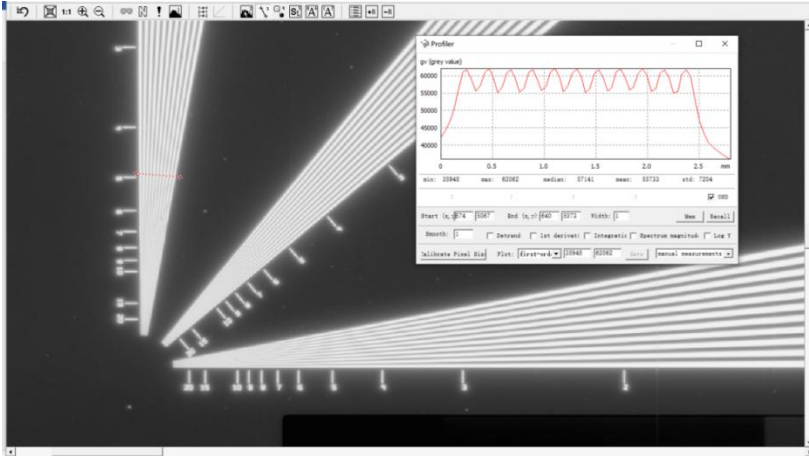


图 A.2 聚合线对测量示例 1

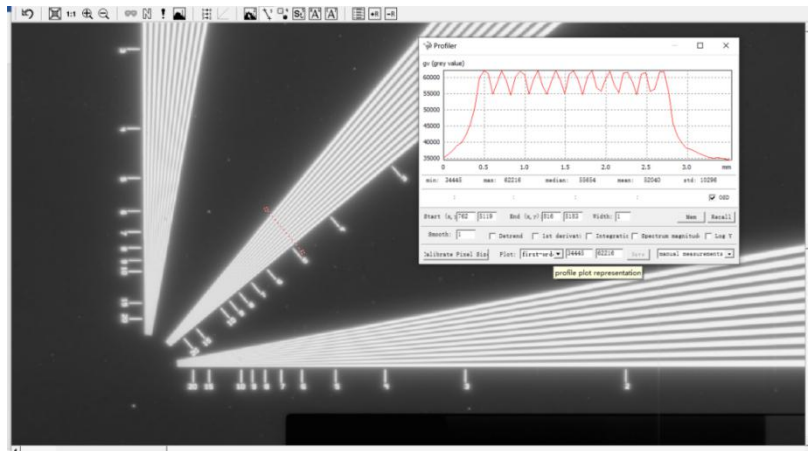


图 A.3 聚合线对测量示例 2

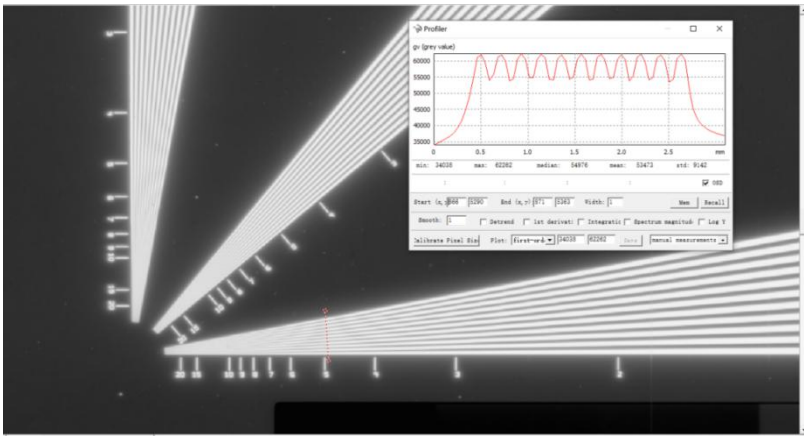


图 A. 4 聚合线对测量示例 3

A. 3. 2 平行线对测量

使用软件中的性能分析工具，在扫描的参考测试片上的平行线对附近标记为5（4~5之间靠近5）和9之间（8~9之间靠近9）拉一条线段，通过目视观察，亮线和暗线平行线对能清晰分辨，即出现规则性波峰和波谷，表明其空间分辨率为对应的标记数值，参见图A.5所示。

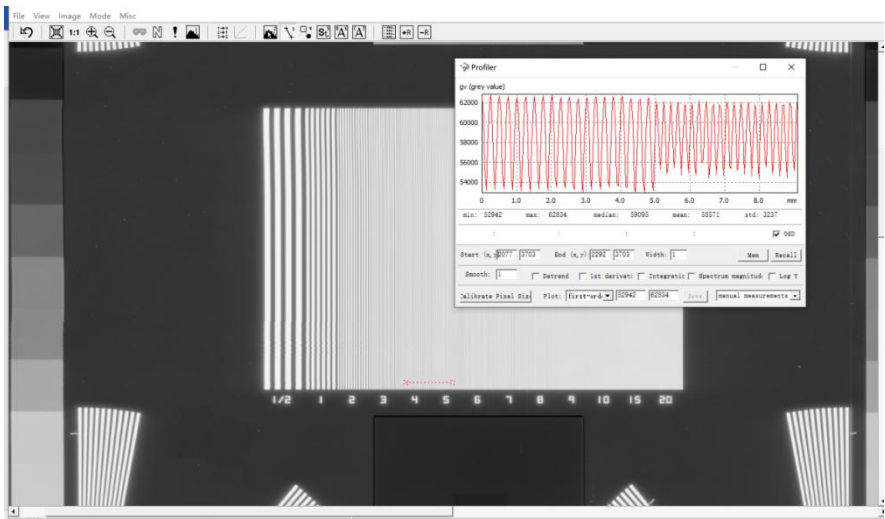


图 A. 5 平行线对测量示例

A. 4 光学密度范围与密度对比度灵敏度的评定方法

A. 4. 1 制作查找表（LUT）值

a) 建立感兴趣区域（ROI LIST）

使用软件中的建立感兴趣区域列表工具建立ROI 0,ROI 1,ROI 2……ROI 12 LIST。

b) 测量感兴趣区域数值

鼠标选取感兴趣区域，再点击测量按钮（鼠标放在参考测试片影像黑白方块条连续段中影像颜色最白的一格中间位置尺寸改成15*15，记录下平均值和标准偏差值，再依次操作，记录下数值（ROI 0~ ROI 12），如图A.6所示。

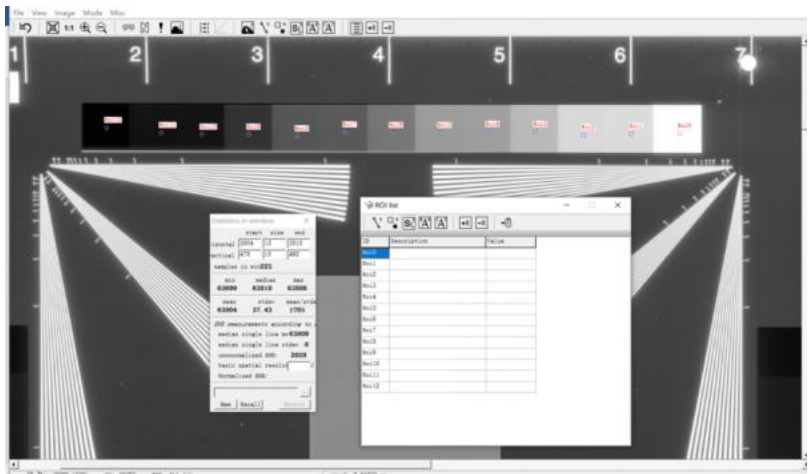


图 A.6 测量 ROI 数值示意图

c) 建立如表 A.1 的数据表格

表 A.1 数据表格的建立（表内数据为示例值）

密 度 值 (Density)	平均值 (mean)	标 准 偏 差 (stdev)	查 找 值 (Gv) (LUT)
0.50	63804.	37.4	5000.0
0.98	56530.	80.1	9800.0
1.01	56092.	61.3	10100.0
1.46	49748.	109.3	14600.0
1.88	44125.	117.5	18800.0
1.92	43392.	117.7	19200.0
2.47	35744.	140.1	24700.0
2.87	29759.	108.4	28700.0
2.93	28984.	118.8	29300.0
3.49	21665.	130.3	34900.0
3.98	15349.	160.7	39800.0
4.00	15089.	133.3	40000.0
4.47	10666.	199.1	44700.0

表格数据填写说明：

- 第一列：密度值：为ASME参考底片说明书中对应黑白方块条连续段给出的数值；
- 第二列：等级值：ROI 0~ ROI 12里的平均值；
- 第三列：标准偏差值：ROI 0~ ROI 12里标准偏差值；
- 第四列：查找表值（表格第一列*10000）-为了让表格显示比例更协调；

d) 绘制图表（XY 散点图）

X轴数据用表A.1数据表格的第二列等级数据,Y轴数据用表A.1数据表格的第四列查找值数据，建立阶数为3的多项式，建立如图A.7所示XY散点图，从图中曲线上得出X的三次方程式。

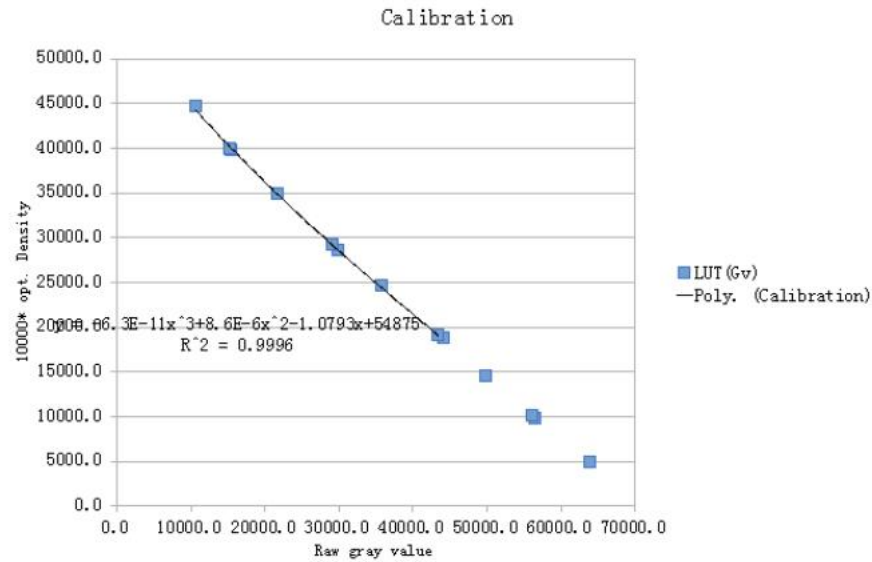


图 A.7 对应的 XY 散点图的建立

- e) 计算查找表（LUT）数值
- 1) 如果扫描仪采用的是 12bit 扫描位数进行扫描的:则 X 取值从 1 到 4096,用上述第 5) 步骤建立的三次方程自动算出 LUT 数值，并将算出的数值保存在记事本内备用；
 - 2) 如果扫描仪采用的是 16bit 扫描位数进行扫描的: 则 X 取值从 1 到 65536,用上述第 5)步骤建立的三次方程自动算出查找表（LUT）数值，并将算出的数值保存在记事本内备用；

A. 4. 2 测定光学密度范围(DR)与密度对比度灵敏度（DCS）

- a) 导入查找表（LUT）到软件
在软件中点击：加载LUT列表导入LUT值，将影像转换成正片。
- b) 记录平均值（mean）和标准偏差（STdev）值

按A.1 中2)测量感兴趣区域数值，并按表A.2的模板填入数据，平均（mean）值/10000 为表A.2中第四列密度值（Density）值，根据密度对比度灵敏度（DCS）公式自动算出密度对比度灵敏度（DCS）数值；

表 A. 2 数据表格的建立（表内数据为示例值）

密度值 (Density)	平均值 (mean)	标准偏差 (stdev)	密度值 (Density)	密度对比度灵敏度 (DCS)

0.50	4700.0	28.0	0.470	0.003
0.98	9989.0	56.8	0.999	0.005
1.01	10299.0	43.4	1.030	0.004
1.46	14723.0	75.5	1.472	0.007
1.88	18581.0	80.8	1.858	0.008
1.92	19095.0	80.0	1.910	0.008
2.47	24412.0	98.9	2.441	0.009
2.87	28717.0	79.7	2.872	0.008
2.93	29189.0	87.9	2.919	0.008
3.49	34896.0	103.	3.490	0.010
3.98	40120.0	138.	4.012	0.013
4.00	40344.0	115.	4.034	0.011
4.47	44282.0	182.	4.428	0.017

表格数据说明:

第一列: 密度值 (Density): 为ASME参考底片说明书中对应黑白方块条连续段给出的数值;

第二列: 等级值 (Level): ROI 0~ ROI 12里mean值;

第三列: 标准偏差 (stdev): ROI 0~ ROI 12里STdev值;

第四列: 密度值 (Density) = 第二列平均值 (mean) / 10000;

第五列: 密度对比度灵敏度 (DCS): DCS公式 = $(2 * \text{标准偏差 (stdev)} * \text{扫描仪分辨率}) / (10000 * 88.6)$;

c) 绘制密度对比度灵敏度 (DCS) 图表

按照表A.2的数据绘制DCS图表, 以DCS为纵轴, 以Density数值为横轴, 见图A.8所示。

d) 光学密度范围 (DR) 及密度对比度灵敏度 (DCS) 值的获取

从图表中可得, 光学密度范围: 0.47D~4.42D(0.5D~4.5D); DCS的所有值介于0.5D和4.5D光学密度范围内, 说明密度对比度灵敏度 (DCS) 小于0.02。

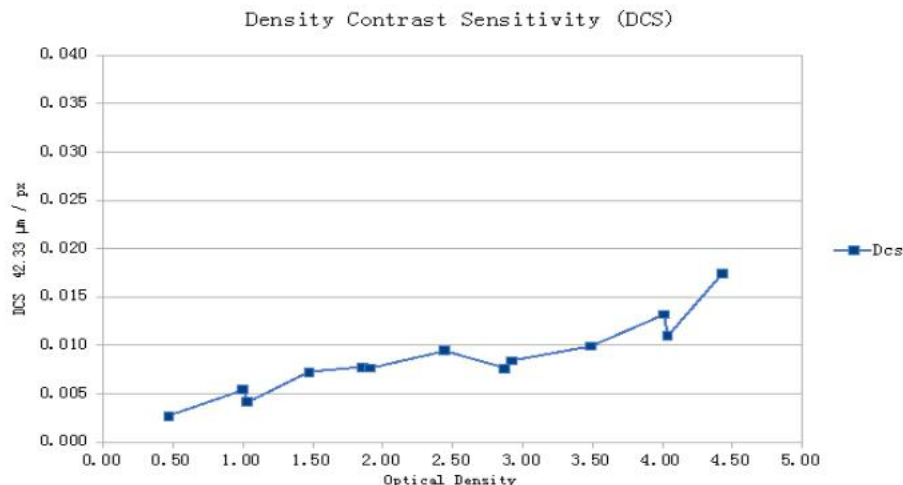


图 A. 8 DCS 图的建立

A. 4. 3 目视验证

用软件中的性能分析功能，在标准底片上选取一条带分段的白线选段拉线（宽度用15），可以明显看到梯度线，见图A.9所示。

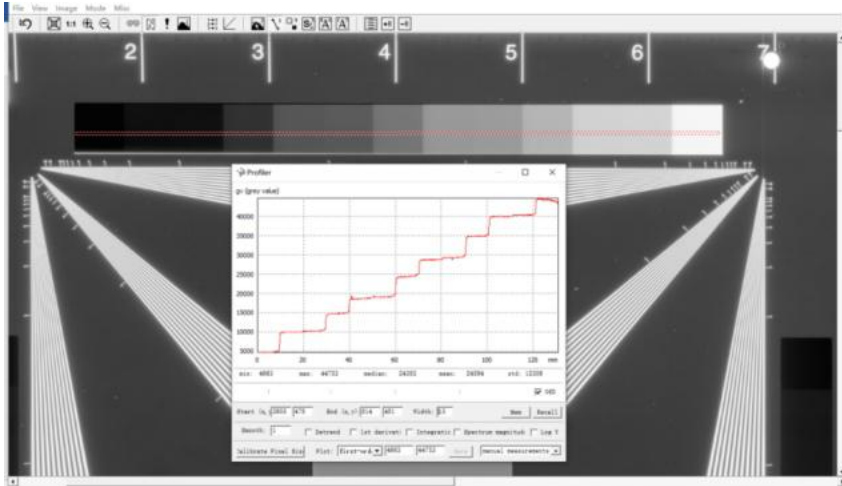


图 A. 9 梯度线显示

A. 5 线性度评定方法

A. 5. 1 用软件打开参考底片，并在参考底片上选取一条带分段的白线选段（每段是1英寸=25.4mm），点击软件中的性能分析按钮，在选取的白线段上拉一条直线。

A. 5. 2 用鼠标点击最左侧波峰处出现绿色标记线，再点击最右侧波峰处出现蓝色标记线（确定边界），再勾选OSD,自动测量出距离如图A.10所示。

测出扫描影像测量长度，与底片的实际长度，通过公式计算出线性误差率，即可确定线性度。

实际长度：7*25.4=177.8mm；
扫描影像测量长度：180mm；
线性误差率=（180-177.8）/177.8=1.23%；

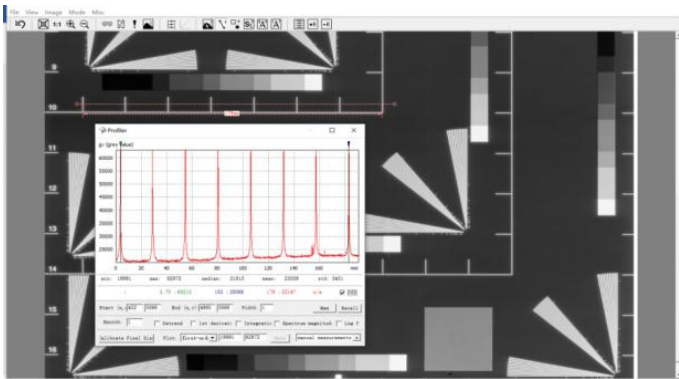


图 A. 10 线性度评定示意图

A. 6 数字分辨率/灰度测量方法

A. 6. 1 方法一

使用软件，导入参考底片影像，点击软件中的数值查看按钮可以看到最大值为65535，如图A.11所示，说明此数字化扫描仪数字分辨力为16bit(65536)。

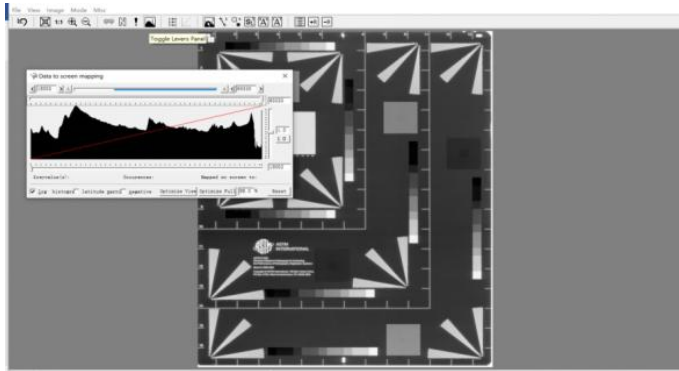


图 A.11 数字分辨力/灰度测量示意图 1

A. 6. 2 方法二

使用软件，点击软件中的性能分析按钮，在影像中黑白方块条连续段拉出灰度线，从弹出的窗格中查看器显示图的纵轴，或窗格中的OSD值中的蓝色字体，可以看到最大为6开头的万位数字,如图A.12所示，说明此数字化扫描仪灰度为16bit。

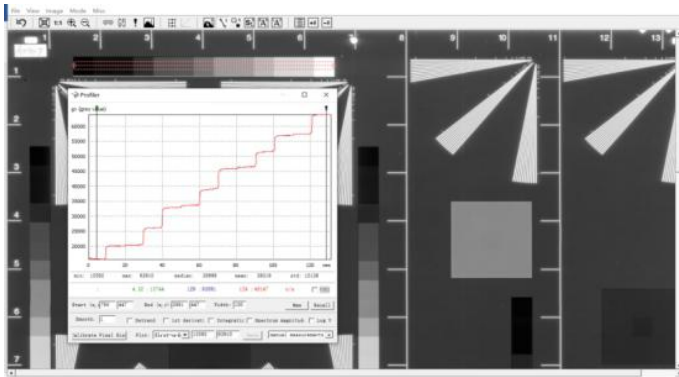


图 A.12 数字分辨力/灰度测量示意图 2

附 录 B
(资料性)
射线底片数字化信息采集表

射线底片数字化信息采集表见表B.1。

表B.1 射线底片数字化信息采集表

编号：							
设备（装置）名称：				区域或单元编号（标段）：			
射线检测单位：				底片数字化单位：			
序号	装置/设备名称	焊接接头编号	片位号	数字化底片编号名称	底片数字化时间	射线底片数字化人员	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

14							
15							
