



中华人民共和国国家标准

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

Non-destructive testing of pressure equipment—
Qualification of radiographic film digitization systems

2012-05-11 发布

2012-09-01 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

本标准按 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准第 1 章参考 BS EN 14096-1:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 1 部分 定义、图像质量参数的定量测量、标准参考胶片和定性控制》(英文版)中第 1 章“范围”。

本标准第 3 章参考 BS EN 14096-1:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 1 部分 定义、图像质量参数的定量测量、标准参考胶片和定性控制》(英文版)和 BS EN 14096-2:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 2 部分 最低要求》(英文版)中第 3 章“术语和定义”。

本标准第 4 章参考 BS EN 14096-1:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 1 部分 定义、图像质量参数的定量测量、标准参考胶片和定性控制》(英文版)中第 4 章“评价过程”。

本标准第 5 章参考 BS EN 14096-1:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 1 部分 定义、图像质量参数的定量测量、标准参考胶片和定性控制》(英文版)中第 5 章“标准参考胶片”。

本标准第 6 章参考 BS EN 14096-2:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 2 部分 最低要求》(英文版)中第 4 章“数字化质量等级”和第 5 章“胶片数字化质量等级最低要求”。

本标准第 7 章参考 BS EN 14096-1:2003《无损检测 射线胶片数字化系统的鉴定方法 第 1 部分 定义、图像质量参数的定量测量、标准参考胶片和定性控制》(英文版)中第 6 章“数字化系统的质量控制和长期稳定性”。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本标准起草单位:中国特种设备检测研究院、北京航空航天大学、上海欧鑫影像设备有限公司。

本标准主要起草人:丁克勤、梁丽红、陈光、傅健、王笑梅、陈异同、杨民、张佳银。

承压设备无损检测

射线胶片数字化系统的鉴定方法

1 范围

本标准规定了射线胶片数字化系统的基本性能参数及其评价方法、射线胶片数字化技术性能等级和标准参考胶片,并规定了钢制和铝制工件的射线胶片数字化时采用的系统应达到的性能等级。

本标准适用于将射线胶片转换为数字图像的技术和系统。

本标准不适用于胶片数字化图像的后续处理和显示。

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。

GB/T 12604.2 无损检测 术语 射线照相检测

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

射线胶片数字化系统 radiographic film digitisation system

借助光学探测器探测胶片的透光度,输出反映透光度的电信号,并将电信号转化为数字信号传送到计算机,形成数字图像。简称数字化系统。

3.2

扫描孔径(SA) scanning aperture

扫描形成的数字图像中一个像素所对应的胶片上的区域。扫描孔径大小是决定数字化系统空间分辨率的主要因素。

3.3

像素尺寸(P) pixel size

扫描形成的图像中,每一行(水平)或一列(垂直)相邻两像素的中心间距。

3.4

光学密度(D) optical density

照射光强与穿过胶片的透照光强之比的常用对数值。

按式(1)计算:

$$D = \lg \frac{I_0}{I_D} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

I_0 —— 照射光强;

I_D —— 穿过胶片的透照光强。

3.5

边缘扩展函数(ESF) edge spread function

阶跃函数通过数字化系统后的输出曲线。

3.6

数字化系统不清晰度(U_D) digitiser unsharpness

扫描孔径、散射等因素引起的图像边缘模糊。用 ESF 曲线上幅值的 10% 和 90% 对应点之间的几何距离来描述。

3.7

空间频率(f) spatial frequency

单位长度上正弦状信号周期变化的次数,用每毫米线对数(lp/mm)来测量。

3.8

空间截止频率(f_c) spatial frequency maximum value

理论上,由奈奎斯特采样定理决定,用每毫米线对数(lp/mm)表示。

按式(2)计算:

$$f_c = \frac{1}{2 \times P} \dots\dots\dots (2)$$

3.9

调制传递函数(MTF) modulation transfer function

ESF 经差分 and 傅立叶变换后的归一化函数,如图 1 所示。描述了数字化系统的不清晰度。

3.10

密度范围(D_R) density range

可测量的最大与最小光学密度之差。

3.11

特征传递曲线(CTC) characteristic transfer curve

表征胶片的光学密度和数字化图像灰度值关系的曲线。

3.12

数字分辨率 digital resolution

数字化系统模数转换器的比特数。一个数字分辨率为 N bit 的数字化系统,其数字图像灰度值最大为 2^N 。

3.13

密度采样宽度(ΔD_{sp}) density sampling pitch

数字图像每增加 1 个灰度值所对应的胶片光学密度的变化。该密度变化由数字化系统特征传递曲线决定。

3.14

密度对比度灵敏度(ΔD_{cs}) density contrast sensitivity

数字化系统可分辨的胶片上最小光学密度的变化。多数情况下,由数字化系统的噪声决定(光探测器的量子噪声)。

3.15

工作范围(ΔD_{wr}) working range

单次采集的数字化图像中,可确保最小密度对比度灵敏度的光学密度范围。是数字化图像的评价范围。根据数字化系统的结构,不同的数字化系统可能不止一个工作范围。

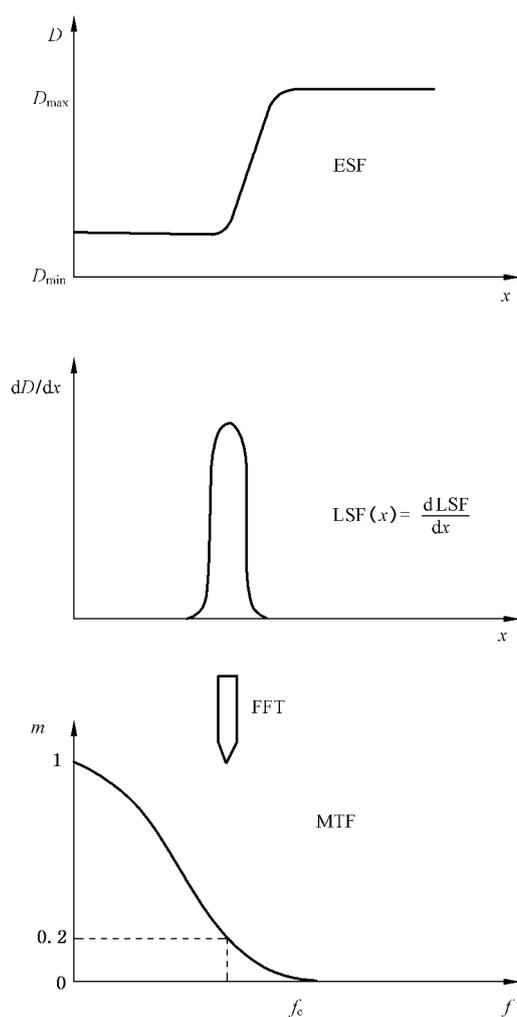


图 1 系统 MTF 求解原理图

3. 16

单次采集 single acquisition

一次扫描完成一张射线胶片数字化的过程。

3. 17

标准参考胶片 standard reference film

包含所有在本标准中描述的参考特征的工业射线胶片。

3. 18

特征 targets

评价数字化系统的标准参考胶片的物理模型。

4 评价方法与过程

4. 1 特征传递曲线、密度范围、像素尺寸和密度对比度灵敏度的评价

4. 1. 1 阶梯形密度特征

为了测量数字化系统的特征传递曲线、密度范围和密度对比度灵敏度,标准参考胶片具有一组阶梯

形的光学密度特征,且满足如下要求:

- a) 光学密度范围:0.5*D*~4.5*D*;
- b) 相邻梯阶间光学密度差:Δ*D*≤0.5;
- c) 每个梯阶面积至少 100 mm²;
- d) 胶片曝光产生的噪声应满足 Δ*D*≤0.01。

4.1.2 特征传递曲线

在参考胶片的数字化图像每一个不同光学密度 *D_i* 的梯阶区域中,选取大小为 15 像素×15 像素的矩形,根据式(3)计算算术平均值 \overline{gl}_i 。

$$\overline{gl}_i = \frac{1}{225} \times \sum_{j=1}^{225} gl_{j,i} \dots\dots\dots(3)$$

以一组(*D_i*, \overline{gl}_i)建立数字化系统特征传递曲线。通过上述方法获得的数字化系统特征传递曲线是离散的。可参考如下经验,通过拟合方法获得连续的特征传递曲线:

- a) 对于线性系统,特征传递曲线是对数曲线;
- b) 对于对数系统,特征传递曲线是直线。

4.1.3 密度范围

通过该数字化系统的特征传递曲线得到。

4.1.4 像素尺寸

通过计算标准参考胶片上的线性特征获得。计算方法如下:胶片上线性特征间的距离除以数字化图像中对应的像素个数。像素尺寸应在图像的行和列方向分别进行计算。

4.1.5 密度对比度灵敏度

基于标准参考胶片的数字化图像,通过计算具有相同光学密度的矩形区域(包含 225 个像素)的标准差获得,按式(4)计算:

$$\Delta D_{CS} = 2\sigma_D \times (P/88.6 \mu\text{m}) \dots\dots\dots(4)$$

标准差描述了数字化系统在扫描具有对应密度值胶片时的输出噪声。标准差按式(5)计算:

$$\sigma_D = \frac{1}{\sqrt{224}} \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^{225} \left\{ D(gl_n) - \frac{1}{225} \cdot \sum_{m=1}^{225} [D(gl_m)] \right\}^2} \dots\dots\dots(5)$$

式中:

D(*gl_n*) ——矩形区域胶片光学密度数字化的名义值或标定值;

D(*gl_m*) ——矩形区域各像素对应胶片光学密度的实际数字化值。

其中:为比较不同像素尺寸的数字化系统的密度对比度灵敏度,以 88.6 μm 作为基准像素尺寸(即 88.6 μm 为 1 个基本像素)。

4.2 截止频率、数字化系统不清晰度和调制传递函数的评价

4.2.1 概述

数字化系统的孔径、电子电路和机械系统是影响系统空间分辨率的主要因素。

4.2.2 截止频率

用标准参考胶片上的扇形线对特征按 5.2.1 的规定或者平行线对特征按 5.2.5 的规定测试,用每

毫米线对数(lp/mm)表示。

4.2.3 数字化系统不清晰度

用标准参考胶片上的阶梯形测试特征按 5.2.3 的规定测试。其边缘扩展函数 ESF 决定了数字化系统的不清晰度。

4.2.4 调制传递函数

图 1 给出了调制传递函数的求解原理。首先,获取边缘扩展函数 ESF;其次,对 ESF 曲线进行差分计算得到线扩展函数 LSF,按式(6)计算;最后,对 LSF 进行傅立叶变换得到调制传递函数 MTF,按式(7)计算。

$$LSF_i = ESF_i - ESF_{i-1} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$MTF_m = \frac{1}{\sum_{n=0}^{N-1} LSF_n} \left| \sum_{n=0}^{N-1} LSF_n \cdot \exp\left(\frac{2\pi i n m}{N}\right) \right| \quad \dots\dots\dots(7)$$

理论上应在无噪声情况下进行调制传递函数的计算,在实际检测中确定 ESF 时,为降低噪声干扰,应沿着垂直于标准参考胶片密度梯阶的方向选取至少 9 条 ESF 曲线进行平均。MTF 极限分辨率(截止频率)应选取调制度为 20%处对应的分辨率。MTF 是特征尺寸的函数。

5 标准参考胶片

5.1 概述

本标准规定的基本性能参数包括空间分辨率、空间线性度、密度范围、密度对比灵敏度以及特征传递曲线。这些基本性能参数和评价方法与标准参考胶片配合使用,用于评定胶片数字化技术和系统的质量。

标准参考胶片分为三个区域:200 mm×250 mm、280 mm×350 mm、350 mm×430 mm,提供了 5 种用于评价数字化系统性能参数的特征,背景密度 $D=3$,见图 2 所示。标准参考胶片也可根据特定的数字化系统进行定制,但应包含所有必要的测试特征。射线胶片数字化系统性能参数测试、评定应在硬件和软件设施均完备的指定机构进行。同时应确保标准参考胶片的评价区域中没有灰尘或刮痕等伪缺陷。

5.2 性能测试

5.2.1 扇形空间分辨率特征

由六个扇形线对构成三组特征,最大分辨率不小于 20 lp/mm,最小分辨率 1 lp/mm,密度对比度 $\Delta D=2.5 \pm 0.5$,且亮线条的最大密度 $D=0.55$ 。三组特征的方向分别为:0°、45°、90°。最大分辨率的特征方向靠近参考测试胶片的边角。线对特征应有显示对应空间分辨率水平的参考标注:1 lp/mm、2 lp/mm、3 lp/mm、4 lp/mm、5 lp/mm、6 lp/mm、7 lp/mm、8 lp/mm、9 lp/mm、10 lp/mm、15 lp/mm 和 20 lp/mm。

5.2.2 密度对比度灵敏度特征

由两个光学密度分别为 2.00 和 3.50 的 10 mm×10 mm 的矩形构成,分别位于光学密度为 1.95 和 3.40 的 40 mm×40 mm 的矩形中心。

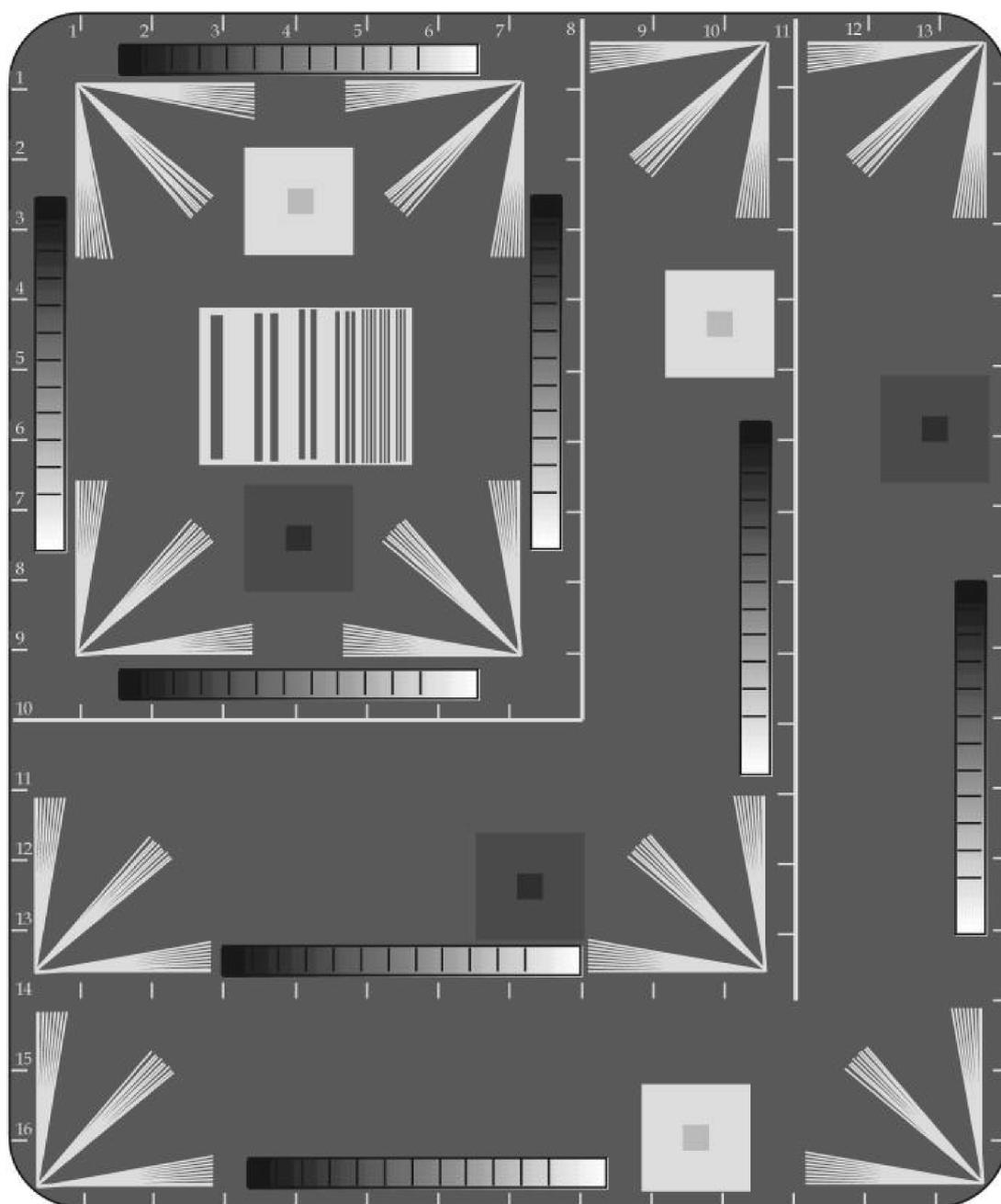


图 2 标准参考胶片

5.2.3 阶梯形密度特征

用于测定系统的密度范围、密度对比度灵敏度和 MTF。由 13 个密度 D 为 0.5~4.5、面积均为 10 mm×10 mm 的矩形组成，按如下近似密度排成一行：4.50, 4.02, 4.00, 3.50, 3.02, 3.00, 2.50, 2.02, 2.00, 1.50, 1.02, 1.00, 0.50。

5.2.4 空间线性度特征

位于标准参考胶片的水平或垂直方向，基本单位为 25.4 mm，把标准参考胶片分为 3 个不同的区域。

5.2.5 平行线对特征

位于尺寸为 200 mm×250 mm 的标准参考胶片的中心,由空间分辨率 0.5 lp/mm~20 lp/mm 的平行线对组成,其中亮线条最大密度为 0.5,暗线条密度为 3 ± 0.5 。

5.3 标准参考胶片的制备

标准参考胶片应由专业机构基于高质量的工业射线胶片制成。其中光学密度应用光学密度计测量,并随标准参考胶片一起提供。每个阶梯形密度特征的中心应有对应光学密度的标识。

5.4 标准参考胶片的存储和处理

5.4.1 存储

标准参考胶片应在无光、低温、无污染的环境下保存。

5.4.2 处理

标准参考胶片在每次使用时,应在磨损处作标记。当磨损处的特征影响评价结果时应及时更换。

5.5 标准参考胶片的证书

标准参考胶片的证书至少应包括下述内容:

- a) 胶片和证书的序列号;
- b) 每个阶梯形密度特征的光学密度;
- c) 应用、存储和处理方法;
- d) 证书有效期;
- e) 与本标准的偏差(如有);
- f) 相关人员签字。

6 数字化技术和系统性能等级划分

6.1 数字化技术和系统的等级

本标准规定了射线胶片数字化技术和系统分为 3 级:A 级——数字化图像质量与胶片比较,信噪比和空间分辨率有较大程度降低,图像信息丢失较大;AB 级——数字化图像质量与胶片比较,信噪比和空间分辨率略有降低,图像信息略有丢失;B 级——数字化图像质量与胶片比较,只有信噪比和空间分辨率的轻微降低,图像信息没有丢失。

根据光学密度范围、数字分辨率和密度对比度灵敏度,表 1 规定了 3 种等级的射线胶片数字化技术和系统。

表 1 不同等级射线胶片数字化技术和系统的技术参数

参 数	B 级	AB 级	A 级
光学密度范围	0.5~4.5	0.5~4.0	0.5~3.5
数字分辨率/bit	≥ 12	≥ 10	≥ 10
密度对比度灵敏度	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02

6.2 数字化技术和系统性能等级与射线胶片照相等级的对应关系

在实际应用中,数字化技术和系统的性能还与射线胶片照相的底片质量有关,底片质量越好,数字化后图像的像质等级越高。表 2 规定了数字化技术和系统性能等级与射线胶片照相等级的对应关系。

表 2 胶片数字化与射线胶片照相像质的对应关系

透照壁厚(钢)/mm	胶片数字化 B 级	胶片数字化 AB 级	胶片数字化 A 级
<5	射线胶片照相 B 级	射线胶片照相 AB 级	射线胶片照相 A 级
≥5	射线胶片照相 B 级	射线胶片照相 B 级	射线胶片照相 AB 级
要求:数字化图像中所能分辨的最细像质计丝应与底片一致。			

7 数字化技术和系统的质量控制与长期稳定性

7.1 常规验证

用户应在指定范围内,利用软件从标准参考胶片的数字图像中测试和验证数字化系统的下述参数:

- 截止频率(f_c);
- 密度对比度灵敏度($\Delta D=0.02,0.05,0.1$);
- 空间线性度;
- 密度范围。

7.2 扩展验证

扩展验证包括 4.1、4.2 中的所有内容。

扩展验证应满足 6 中规定的最低要求,以确定数字化系统性能等级。

7.3 验证周期与长期稳定性

扩展验证应在数字化系统安装和维修完毕后直接执行。为保证数字化技术和系统的长期稳定性,应将验证结论归档。常规验证和扩展验证的周期应由相应的质量检验机构确定。

8 钢制和铝制工件射线胶片数字化最低要求

钢制和铝制工件的射线胶片一般应有较大的光学密度范围,其数字化应选用具有 AB 级以上(包括 AB 级)的射线胶片数字化系统。