

# 基于人眼视觉特性的焊缝 X 射线 图像辅助判读系统

王 珩, 苏真伟

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

**摘 要:** 目前, X 射线焊缝检测主要采用人工判读 X 射线胶片的方式, 可靠度差, 效率低。介绍了一种焊缝 X 射线图像辅助判读系统, 它采用基于人眼视觉特性的图像处理算法, 对数字化后的胶片图像进行处理, 增强其视觉效果, 帮助评片, 同时还增加了图像数据库存储检索功能。相关试验结果表明, 该方法对难以识别的焊缝图像有较好效果, 有助于焊缝缺陷的检测。

**关键词:** 焊缝; X 射线图像; 辅助评片系统; 人眼视觉特性; 图像处理

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)03-0192-03

## Computer Aided System for Image Evaluation of X-Ray Welding Line Based on Human Eye

WANG Heng, SU Zhen-Wei

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** A computer aided evaluation system was presented, which improved the image quality for the detection of defects in X-ray images of welding seams. Image enhance algorithm based on human eye properties and a data base were applied to the system. The results of our experiments indicated that this system was helpful for the detection of defects in welding seams.

**Keywords:** Welding; X-ray image; Assistant system for inspection; Human eye property; Image processing

目前, 国内工业界主要由评片人员在观片灯下对焊缝 X 射线底片读片, 根据有关标准和焊缝缺陷的位置、大小, 作出焊缝质量的检测评定。这种方式工作量大, 效率低, 且在强光下, 对人眼损伤大、易疲劳, 可靠度降低, 对评片人员的经验和操作责任心有较高的要求。

笔者基于数字化技术, 提出了一种焊缝 X 射线胶片图像的辅助判读系统, 利用安装在普通读片灯内的数字化装置, 将焊缝 X 底片图像数字化, 并采用基于人眼视觉特性的图像算法改善图像对比度, 帮助评片人员快速、有效地识别缺陷。系统还可与 Access 数据库通信, 可以方便地将评片信息存档。系统选用 LabVIEW 及其视觉模块作为开发平台, 有一定的推广应用价值<sup>[1]</sup>。

## 1 系统的总体设计

系统主要由图像获取、图像处理及图像存档三部分组成, 程序框图如图 1 所示。

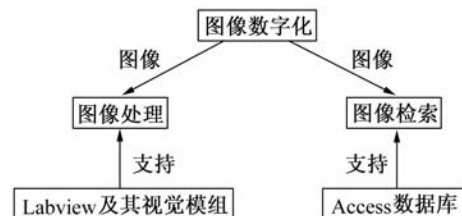


图 1 程序框图

系统将高分辨率的数字相机安装在读片灯内, 利用读片灯原有的照明条件获取高精度的 X 射线图像。图像获取速度为 5~10 s, 符合国内读片人员的操作习惯。获取图像的同时, 系统将数字化后的图像自动输入计算机, 评片人员即可开始利用计算机屏幕上的图像评片, 评完后将图像和评片信息存

收稿日期: 2008-05-08

作者简介: 王 珩(1982—), 男, 硕士, 研究方向为工业数字图像处理。

入计算机。系统各部分功能介绍如下。

### 1.1 图像数字化

将焊缝 X 射线底片置于观片灯窗口,在观片灯透射条件下,通过 DirectShow 功能,由计算机控制高分辨的数字相机实现图像数字化,并把图像传入内存。图像获取界面如图 2 所示。点击“拍摄图像”按钮,即可在 10 s 内获取图像,并自动切换至图像处理界面。“图像设置”按钮可调整图像获取设备的参数(如分辨率和颜色模型等)和成像参数(亮度、对比度和 Gamma 值等)。此外,系统还可以直接从计算机内存或光碟中读取 X 射线图像。



(a) 图像获取操作界面



(b) 辅助判读操作界面



(c) 存档操作界面

图 2 软件操作界面截图

### 1.2 图像处理

图像处理部分是整个系统的核心,其功能归纳为三个方面:

(1) 图像查看 由于获取的图像具有高分辨率(至少为  $2048 \times 1536$ ),系统为用户提供了完备的图像查看功能,可对图像进行滚动查看、整体浏览、局部选择观看以及缩放,使操作人员全面了解图像特点。通过点击查看模式,使用者还可以得到图像任一像素点的灰度值、颜色模式等信息。

(2) 图像调节 用户可对图像的亮度、对比度、Gamma 值进行手动调节,使其更加适于人眼观看。调节功能既可针对整幅图像,也可针对局部区域。

(3) 图像处理 该功能增强焊缝图像的视觉效果,加强缺陷信息,帮助评片人员进行评判。目前提供的处理功能包括图像反转、灰度均衡化、去噪滤波、图像锐化、浮雕化和缺陷量化测试等。针对少数缺陷较难识别的焊缝图像,系统提供了基于人眼视觉特性的图像处理功能,使焊缝缺陷变得明显,同时

避免处理后图像失真。具体算法见文中第 2 节。

### 1.3 图像检索

图像检索包括操作信息记录和图像存储。记录的信息主要包括:① 产品信息(如型号、名称、采用的技术标准、合格级别等)。② X 射线底片信息(包括焊缝片号、像质指数、黑度范围和投射强度等)。③ 评片信息(包括评定者及复评者姓名、缺陷性质、评定等级和缺陷位置表示等)。④ 图像信息(包括成像设备名称、拍摄日期、时间和图像尺寸等)。该部分信息由系统自动添加。以上信息以文本格式存储,同时写入图像顶端并自动录入数据库。在数据库表中,每条信息记录都带有对应图像文件的地址链接,方便用户查看,也为刻盘存储和局域网通讯做准备。为尽可能完整地保存图像细节,图像采用.tif 文件格式存储。

## 2 焊缝图像处理算法

### 2.1 人眼视觉特性分析

医学研究发现,人眼视觉系统对图像的边缘、细节等高频信息,块效应以及低频噪声非常敏感,对低频信息、高频噪声和灰阶分布较散的像素则不太灵敏。同一目标在不同颜色背景下对人眼的刺激也不同,肉眼对红色比较敏感<sup>[2]</sup>。因此,选取合适的参数和模板,图像反转、滤波、均衡化、浮雕化和锐化等方法都能改善一般焊缝图像的视觉效果<sup>[3]</sup>。

对于较难识别的图像,则需要考虑亮度和对比度因素。理论上,人眼所能感觉到的亮度范围很大,但是当适应某一平均亮度后,所能感受的亮度范围明显缩小。当平均亮度较低时,能分辨的亮度上、下限之比仅为 10:1。在低照度条件下,眼球的杆体细胞起作用,对于颜色和细节信息极不敏感,增强细节信息无效<sup>[4]</sup>。焊缝图像中的缺陷属于细节信息,因此,若图像整体亮度过低,即使缺陷与背景对比明显,肉眼也无法辨认。

人眼的分辨力即肉眼在一定距离上能区分开相邻两点的能力与图像的对比度有着直接联系。人眼视觉系统作为一个多通道带通滤波系统,其特性可以用对比灵敏度来描述。若目标对比度小于人眼对比灵敏度,则目标不可分辨。在判读时,若焊缝缺陷与背景灰度接近,超出了人眼分辨能力,即便对图像的整体或局部亮度进行调整,也很难识别缺陷<sup>[5]</sup>。基于上述分析,笔者采用了如下的基于人眼视觉特性的图像算法。

## 2.2 焊缝图像处理算法

(1) 非线性对比度增强算法 该方法根据人眼视觉特性,使用非线性灰度变换来调整图像的动态范围,从而改善图像整体对比度<sup>[6]</sup>。变换公式如下:

$$F'(x) = D \left( \frac{x - L_m}{L_M - L_m} \right)^{1/\gamma}$$

式中  $F'(x)$  为变换后的图像;  $x$  为图像的像素值;  $L_M$  和  $L_m$  分别对应图像的最大和最小值;  $D$  代表输出图像的动态范围;  $\gamma$  为控制灰度变换曲线形状的参数,取值范围为  $[0, 1]$ , 当  $\gamma=1$  时,灰度变换曲线为一条直线,对比度保持不便,  $\gamma$  越小则对比拉伸越大。根据焊缝图像特点,实际变换时,  $D$  取值 1,  $\gamma$  取值 0.6。

(2) 像素调整 像素调整的实质是对原图像进行线型灰阶拉伸变换,即将原图像中一定灰度范围内的像素值通过线型映射函数进行扩展,使像素间的对比度加大,同时增强图像整体亮度<sup>[7]</sup>。其映射函数如下:

$$g(x, y) = A \cdot f(x, y) + B \quad (2)$$

式中  $A = \frac{1}{I_{\max} - I_{\min}}$ ,  $B = \frac{-I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$ ;  $I_{\min}$  和  $I_{\max}$  分别对应原图像的最小和最大值;  $g(x, y)$  和  $f(x, y)$  分别代表处理后图像和原图像。

系统中的图像数据均以双精度形式存储,灰度范围在  $[0, 1]$  之间,因此采用该算法可以将原本分布狭窄的像素值扩展到整个灰度空间,使像素间的区别加大,灰度值分布更宽,在增加对比度的同时,也调整了亮度。

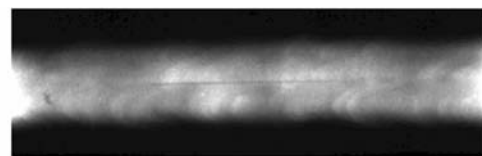
## 3 试验

采用上述算法分别对有未焊透和裂纹缺陷的焊缝图像进行处理,处理结果如图 4 所示。

原始图像在拍摄时由于像质、黑度及焊缝本身等因素的影响,缺陷很难识别。分析直方图(图 5)可知,两图像的像素都分布在狭窄的灰度范围内,对比度差,整体亮度低。未焊透图像经过非线性对比



(a) 未焊透图像



(b) 非线性对比度增强后的未焊透图像



(c) 裂纹图像

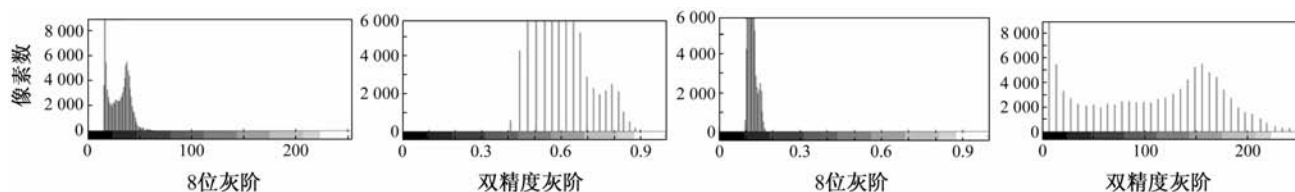


(d) 像素调整后的裂纹图像

图 4 缺陷图像处理前后对比图

度增强后,灰度值均匀分布,对比度明显增强,图像无失真,缺陷与背景容易区分。像素调整算法主要改善图像的整体亮度,同时在一定范围内进行对比度调节。经过处理,裂纹缺陷变明显了,图像的细节也没有丢失。

试验证明,非线性对比度增强算法可以加强缺陷信息,亮度和对比度调节适中,适用于像素值差别小的图像。像素调整算法对图像的整体亮度提升较高,但对比度调节能力有限,适用于灰度值较低的图像。由于考虑了人眼视觉特性,上述算法的处理效果要优于亮度调节、灰度均衡化和图像反转等一般



(a) 未焊透图像直方图

(b) 非线性增强后未焊透直方图

(c) 裂纹图像直方图

(d) 像素调整后裂纹直方图

图 5 缺陷图像直方图对比

(下转第 197 页)



(1) 中心导体交流传导电流在管壁上产生交变周向磁场,根据毕奥-沙伐尔定律,磁场相位与电流相位相同。以右手定则画之。

(2) 根据安培环路定律,管壁上的磁场强度与距中心导体轴线的距离成反比。因此管壁上的磁通分布不均匀,离内壁越近,磁感应线越密,磁感应强度越大。

(3) 在管壁上由于存在交变磁通,根据法拉第电磁感应定律,围绕交变磁通将产生感生电动势。可以设想沿壁厚方向划分为许多子回路,由于包围的磁通及变化率不同,产生的感生电动势越靠近内壁越大,即  $\epsilon_4 > \epsilon_3 > \epsilon_2 > \epsilon_1$ 。根据楞次定律,这些感生电动势的相位落后于中心导体交流电流产生的磁通  $\pi/2$ 。由于分别形成闭合回路,因此形成涡流,且  $I_4 > I_3 > I_2 > I_1$ 。由于每个子回路中既有电阻量,又有电感量,因此这些涡流的相位要落后于感生电动势  $0 \sim \pi/2$ ,也即涡流的相位要落后于中心导体交流电流产生的磁通  $\pi/2 \sim \pi$ 。设想把子回路分得很薄,则每两个回路的交叠部分上的电流正好抵消。

(4) 对于钢管外表面和内壁面上的涡流产生的磁场,根据毕奥-沙伐尔定律,涡流和其产生的磁场两者相位相同。因此涡流产生的磁场的相位要落后于中心导体交流电流产生的磁通  $\pi/2 \sim \pi$ 。这说明两个交流量在每个周期的大部分时间里方向是相反的,因此须将按同相位关系画出的假设涡流磁场的方向反过来。

从模型图上可以看出,在中心导体交流电磁化

的情况下,在管壁里产生的涡流引起的磁场,无论是在钢管的外表面,还是内壁面,都与中心导体电流产生的磁化场基本同方向,而在管壁内部,却基本为反方向。说明这种情况下,集肤效应表现为磁场在钢管内、外表面集中与加强。且无论是中心导体电流产生的磁场,还是涡流产生的磁场,都是在管内壁处的要大于在管外表面上的。这两种磁场在两处都是叠加关系,这就解释了为什么当采用交流电中心导体法对钢管等圆筒类工件进行周向磁化时,虽然磁场集肤于内、外表面,但若根据安培环路定律推出的经验公式确定电流(由于管壁薄,按内外径计算结果相差极小),钢管内外表面将有较大检测灵敏度差异。

### 3 结论

(1) 钢管等圆筒类工件采用交流线圈纵向磁化时,磁场主要集肤于外表面,内壁磁场削弱甚至抵消,影响内壁面周向缺陷的检出。

(2) 钢管等圆筒类工件采用交流电中心导体法周向磁化时,磁场集肤于内、外表面,但两处磁场的强度会有不遵循磁探经验公式的较大的差异。

### 参考文献:

- [1] 周志伟,郭伟灿,徐立功,等. JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》答疑—磁粉检测部分(II)[J]. 无损检测, 2006, 28(8): 431—432.

(上接第 194 页)

方法,而且原理简单、计算快速,适用于高分辨率图像的处理。

### 4 结语

提出了一种焊缝 X 射线图像的计算机判读系统,将胶片图像转化为数字图像并把部分基于人眼视觉特性的图像算法用于焊缝图像增强,另外增加了图像数据库存储检索功能。该系统有助于焊缝缺陷的判读和识别。将基于人眼视觉特性的图像处理算法应用到焊缝 X 射线图像是该系统的一大特色。进一步的工作主要集中在算法研究和软件实现。

### 参考文献:

- [1] 杨乐平,李海涛,赵 勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] 王新成. 高级图像处理技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,2000.
- [3] 陈 光. 焊缝 X 射线数字图像处理及缺陷检测方法研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.
- [4] 朱志刚,译. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [5] 张晓光,林家骏. X 射线检测焊缝的图像处理与缺陷识别[J]. 华东理工大学学报,2004, 4(2): 199—202.
- [6] 杨词银. 基于人眼视觉特性的数字 X 线医学图像增强方法的研究[D]. 北京:中国科学院,2003.
- [7] 张风超. 医学数字 X 射线图像处理与分析算法研究[D]. 上海:上海交通大学,2005.