

多区域质量特征融合的射线底片图像质量综合评价方法

田云祥¹ 张勇² 姜洪权^{1,2} 冯章柯¹ 张晓明³

(1 陕西城市燃气产业发展有限公司, 西安 710016)

(2 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 西安 710049)

(3 陕西省特种设备检验检测研究院, 西安 710048)

文 摘 现有图像质量评价方法主要关注于噪声、清晰度等指标,缺乏对射线底片数字化图像中焊缝区域、缺陷区域及像质计区域等领域关注区域的质量综合评价。针对以上问题,提出了一种融合多区域质量特征的射线图像质量综合评价技术。首先,结合无损检测领域质量评价需求,构建了一套涵盖像质计、焊缝与缺陷等多区域的评价指标体系;然后,基于层次分析法提出一种包含像质计数目、清晰度、对比度、信息熵和平均灰度的射线图像综合质量评定方法。结果表明,所提方法可以实现射线底片数字化图像质量综合评分,既可以定量化评价图像整体质量,也可以保证关注区域图像具有良好质量。

关键词 射线数字底片,多区域,层次分析模型,综合评分

中图分类号:TP391

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2025.01.006

The Comprehensive Evaluation Method for Radiographic Film Image Quality With Multi-region Quality Feature Fusion

TIAN Yunxiang¹ ZHANG Yong² JIANG Hongquan^{1,2} FENG Zhangke¹ ZHANG Xiaoming³

(1 Shaanxi City Gas Industry Development Co., LTD, Xi'an 710016)

(2 State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

(3 Shaanxi Special Equipment Inspection and Testing Institute, Xi'an 710048)

Abstract Existing image quality evaluation methods mainly focused on noise, clarity and other indicators, and lacked the comprehensive evaluation of the quality of the areas of concern in the weld region, defect region and image quality indicators region in the digitised image of the radiographic negative. To address the above problems, a comprehensive radiographic image quality evaluation technique that integrated multi-region quality features was proposed. Firstly, a set of evaluation index system covering multiple regions such as image quality indicators, weld seam and defects was constructed by combining the quality evaluation needs in the field of non-destructive testing; then, a comprehensive radiographic image quality evaluation method including the number of image quality indicators, clarity, contrast, information entropy and average greyness was proposed on the basis of hierarchical analysis method. The experimental results show that the proposed method can achieve the comprehensive evaluation of the digital image quality of the X-ray negative, which can quantitatively evaluate the overall image quality and also ensure the good quality of the image in the concerned area.

Key words Radiographic digital films, Multi-region, Hierarchical evaluation model, Comprehensive evaluation

0 引言

射线照相技术是当前无损检测领域广泛使用的重要技术之一,具有分辨率高、复杂检测环境适应性及便捷性强等优点。然而,射线照相技术将产生大

量的工业射线底片,不但保存管理成本高,无法满足企业信息化管理需求,也无法满足自动化、智能化评片需求,所以需要利用射线底片扫描仪对工业射线底片进行数字化图像转换,然后在数字化图像上进

收稿日期:2024-05-08

基金项目:国家自然科学基金(52375513);陕西城市燃气管道安装质量智能监管平台研发(20220569)

第一作者简介:田云祥,1974年出生,研究生,高级工程师,主要从事城市燃气生产运营及工程管理工作。E-mail:994694322@qq.com

通信作者:姜洪权,1978年出生,博士,副教授,博士生导师,主要从事制造质量及服役质量理论与提升技术、工业大数据分析与应用工作。

E-mail:hqjiang@mail.xjtu.edu.cn

行缺陷识别与质量评定。因此,以工业射线底片的数字化管理为背景,开展射线底片数字化图像质量评价技术,提高射线底片的信息可信性保证能力及数字图像质量水平,已成为企业迫切需要解决的问题。

当前,对于射线底片数字化图像质量的管理主要是依据底片数字化设备性能的评定标准进行控制。目前被业界广泛采纳的如GB/T 26141—2010无损检测射线照相底片数字化系统的质量鉴定^[1],该标准于2010年从欧洲引入,等同采用ISO国际标准:ISO 14096。标准中规定了射线照相胶片数字化处理的基本性能参数评价规程,如空间分辨率、空间线性度、密度范围、密度对比敏感度和特征传递曲线,该部分程序可与标准参考底片结合,对数字化过程进行质量控制。具体方法是通过扫描标准射线底片,然后使用GB/T 26141—2010中相关参数进行射线底片数字图像鉴定^[2]。

其次,对底片数字化图像本身的质量也做出了要求。如中国特种设备检验协会即将发布的团体标准《射线底片扫描成像质量标准》,规定了射线底片数字化图像质量要求,包括以下几点:(1)图像每英寸长度内的像素点数(dpi)应不低于400;(2)数字分辨率不低于12 bit;(3)图像有效评定区黑度与原射线底片黑度一致;(4)像质计丝号与原射线底片一致;(5)图像尺寸和实际尺寸偏差不大于3%。另外,GB/T 23901—2019无损检测射线照相检测图像质量^[3]分五个部分对使用像质计确定射线照相检测图像质量的方法以及像质值的确定等进行了一系列规定,以确保射线照相检测图像的质量符合一定的标准,以提高检测的可靠性和准确性。

在实际生产中由于底片数字化扫描过程需要依据底片黑度设置扫描参数,且不同底片黑度存在差异性,且分布不均匀性,造成底片数字图像质量往往难以保证^[4]。换言之,虽然现有相关标准对底片数字化过程和数字化图像分别进行了质量规定,但由于扫描设备的参数设置不当或人为因素干扰等问题,往往产生大量不合格数字图像,难以满足实际评片需要。例如课题组在对国内某企业的6万余张焊缝射线底片数字化图像分析中,发现有近30%以上的图像存在局部过曝、欠曝、焊缝区域模糊等问题,严重影响评片的有效性和智能化评片工作的可信性。

当前,在针对图像质量评价方面的研究集中在传图像处理领域。例如,在以传统图像为对象的质量评价方面,惠子薇等^[5]人结合图像全局与局部特征,提出一种基于人眼视觉特性的图像质量评价算法。于森森等^[6]充分模仿人类的视觉认知机理,构建

了一种由色度、梯度、对比度敏感函数、高斯差分频带等四种特征组成的全参照图像质量评估模型。高敏娟等^[7]突破了传统的基于局部信息的方法,建立了一套基于非局部信息的图像质量评估方法,并在该框架下建立了一套新的图像质量评估方法。侯春萍等^[8]提出了一种基于局部与整体的图像质量评估方法,该方法能够有效地提高图像的质量。在针对X射线图像的质量评估方面目前研究较少,主要思路还是借鉴传统图像领域质量评价思路。如齐亚欣等^[9]以均值次数、灰度标准偏差、噪声和失真度等为评价指标,建立了基于主观评判的图像质量评估模型。张翔松等^[10]把人眼视觉因素如光照,感兴趣区域面积考虑在质量评价内,设计出一种考虑视觉因素的图像对比度评价方法;同时通过分析图像灰度、图像黑度和光强的关系,提出一种图像黑度质量评价指标。以上图像质量评价算法多数针对通用类型的图像,如自然图像、人物图像等,然而对射线底片数字化图像,具有明确无损检测领域要求,即技术人员不仅仅是关注于噪声、清晰度等指标,更关注于焊缝区域、缺陷区域、像质计区域等图像质量,现有图像质量评价方法难以满足这一需求。

针对以上问题,本文提出了一种融合多区域质量特征的射线底片数字化图像质量综合评价方法。

1 射线数字化底片质量评价指标体系建立

总体路线如图1所示。首先,基于无损检测领域的射线底片合格要求,建立一套包含像质计、焊缝区域和缺陷区域质量特征的质量评价指标体系;然后,基于层次分析法,提出一种多区域图像质量综合评价方法。该方法从像质计、焊缝区域和背景区域综合所提指标,构建一个反映图像总体质量的综合质量指标 Q ,以此来评价底片质量。本文将完整射线图像划分为像质计区域、焊缝区域和缺陷区域三部分,分别对其质量特征进行分析。

首先,像质计区域是底片数字化图像中用于质量计量和评估的特定区域,该区域可容易观察到像

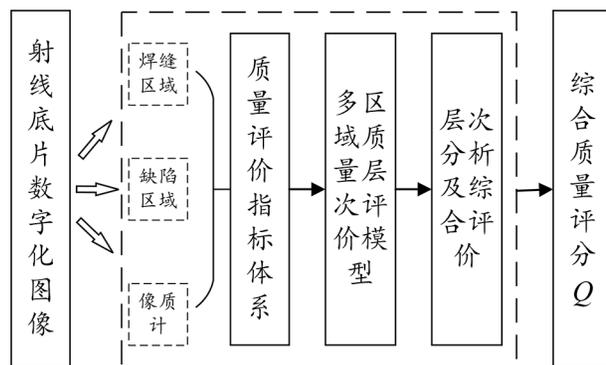


图1 本文方法路线

Fig. 1 Method route of this article

质计。作为一种特殊的测试图像,像质计表现为垂直于焊缝的相互平行靠近的几个白色丝线,通常要求像质计丝数达到3~4条以上,才可确保对底片数字图像质量的评估具有一定的可靠性和准确性。总之,对像质计数量的要求有助于初步确定图像的可用性。其次,焊缝区域作为焊缝图像的主体部分应重点关注,正常焊缝应具备焊接的完整性和均匀性,且焊缝应清晰可见,使评定人员能够准确地观察焊缝和相关细节,并进行判断和分析。最后,缺陷区域包含整幅图像重要的缺陷信息,该区域应具有足够的分辨率和清晰度,使得可见的细小缺陷容易被检测和分析,同时该区域应具有较高的对比度,评定人员能更容易发现焊缝缺陷的存在情况,如裂纹、气孔、夹杂物等,并对其进行定性和定量的评定。

基于上述对合格数字化底片质量要求的分析,可知合格数字化底片需要在图像清晰度、对比度、亮度水平等方面达到一定要求,可建立相应的射线底片数字图像质量评价指标体系。以下是采用图像平均梯度、图像对比度、图像信息熵和图像平均灰度四项评价指标对底片数字化图像进行定量评估。

1.1 图像平均梯度

图像平均梯度(\bar{G})是一种反映图像微小细节反差的表达能力的指标,用来衡量图像的清晰度。平均梯度值越大,图像层次感越强,图像就越清晰。其数学表达式为:

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{n-1} \left[\frac{(\frac{\partial f_{ij}}{\partial x_i})^2 + (\frac{\partial f_{ij}}{\partial y_j})^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}}}{(m-1) \times (n-1)} \quad (1)$$

式中, m 、 n 为底片图像的尺寸。

1.2 图像对比度

图像对比度(CON)反映了底片上不同区域的亮度差异。可以用图像中最亮像素和最暗像素之间的差值来计算,对比度越高,评定人员就能够更容易地检测出缺陷和细节,提高评定结果的准确性。数学表达式为:

$$CON = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2)$$

式中, I_{\max} 为底片中最亮像素的灰度值, I_{\min} 为底片中最暗像素的灰度值。

1.3 图像信息熵

图像信息熵(IE)主要反映图像中包含的信息数量和复杂度。图像中所包含的信息越丰富其值越大,对于灰度图像即有如下表示关系:

$$IE = - \sum_{i=1}^L P(g_i) \lg_2 P(g_i) \quad (3)$$

式中, $P(g_i)$ 表示图像中灰度值为 g_i 的所有像素所占比例, L 为图像灰度等级数量。

1.4 图像平均灰度

图像平均灰度(\bar{I})是指一幅图像中所有像素灰度值的平均值,它用来衡量整幅图像的亮度或强度水平,表达式如下:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_{ij}}{m \times n} \quad (4)$$

以上所提指标从图像清晰度、对比度、信息复杂度和亮度水平方面评价数字化底片的质量,一定程度上能将符合评片质量要求的底片筛选出来。

2 基于多区域特征层次分析的图像质量评价方法

2.1 考虑多区域的质量层次评价模型

为增强所提指标之间的关联性,提出基于层次分析法(AHP)^[11]的多区域图像质量综合评价方法。该方法从像质计、焊缝区域和缺陷区域这三个角度综合上述所提指标,构建了一个反映底片数字化图像总体质量的综合质量指标 Q 。该方法通过建立层次分析模型,将评价过程结构化、层次化,如图2所示,它将评估过程划分为三层结构。其中目标层(O)作为最顶层,代表整个评价的总体目标,即“数字化底片的总体质量”;判据层(C)为第二层,包括不同的判据,代表了评价的主要方面或角度,即像质计、焊缝区域、缺陷区域;准则层(P)是第三层,包括每个判据下面的相关准则,代表要考虑的具体指标或因素,即像质计数目、图像清晰度、图像对比度、图像信息熵和图像平均灰度。

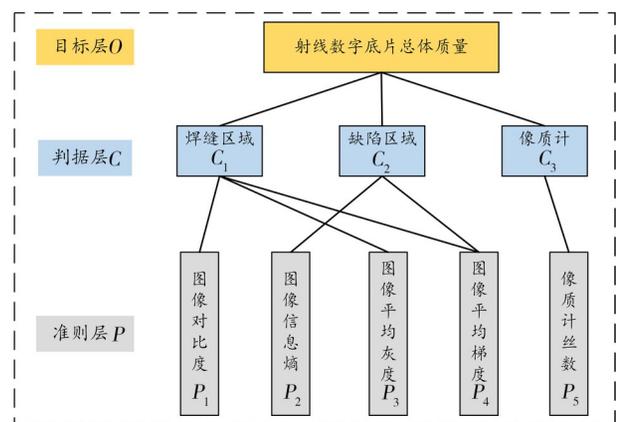


图2 多区域质量层次评价模型

Fig. 2 The model of multi-region quality level evaluation

图2所示模型的主要内容如下:首先从像质计角度考察,若像质计数目达到4条及以上,可初步判定图像整体质量合格,则可进一步评估。实际上,企业在进行评片过程中,首先关注的就是像质计数目,若

数目达不到一定的级别则基本上判定底片质量不满足进一步评片要求,则评片流程到此结束。其次,分别从焊缝区域和缺陷区域这两个区域判断图像的质量。为了综合考量所提指标,可将所提指标与不同区域建立关联。例如,图像对比度可以帮助区分焊缝与周围区域,因此与焊缝区域建立关联;图像信息熵可检测缺陷区域的复杂性,因此与缺陷区域建立关联;图像平均灰度反映图像的整体亮度水平,可与焊缝区域建立关联;图像平均梯度反映图像中细节信息边界的清晰程度,因此可与焊缝区域和缺陷区域都建立关联。通过这种对应关系,建立以上层次结构,将判据层和准则层相互连接,以便进行权衡和决策。

2.2 层次分析过程及综合评价策略

建立了层次评价模型后,可根据各层因子之间的相对重要程度关系赋予其不同的权重系数,根据权重综合各指标得分,最后获得数字化底片的总体质量评分 Q 。

2.2.1 建立判断矩阵

建立判断矩阵 $A_{n \times n}$,以矩阵的形式来表达每一层次中各要素相对上下层要素的重要度。采用1~5标度^[12]表示各指标之间的重要程度,通过对各层因子如 C_1, C_2, C_3 进行两两比较建立判断矩阵。

2.2.2 层次单排序及一致性检验

层次单排序即确定下层各因素对上层某因素的影响程度,并用权值表示。利用和积法求取 $A_{n \times n}$ 的权重向量和最大特征根,具体子步骤见如下阐述。

(1)按列归一化判断矩阵 A 得到 A'

$$\begin{aligned} A &= [M_1 \quad M_2 \quad M_3 \quad M_4] \\ A' &= [M_1' \quad M_2' \quad M_3' \quad M_4'] \\ M_k' &= \frac{M_k}{\sum_{i=1}^n A_{ik}}, (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (5)$$

式中, M_k 为矩阵 A 的列向量, M_k' 为归一化矩阵 A' 的列向量, A_{ik} 为矩阵 A 的第 i 行第 k 列元素。

(2)计算归一化矩阵 A' 每一行元素平均值得到指标权重

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^n A_{ik}}{n}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(3)求取最大特征根

$$\lambda_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (7)$$

(4)一致性检验

通过一致性比率 CR 进行一致性检验,公式如下:

$$\begin{aligned} CR &= \frac{CI}{RI} \\ CI &= \frac{\lambda_m - n}{n - 1} \end{aligned} \quad (8)$$

式中, CI 为一致性指标, RI 为平均随机一致性指标, CR 为一致性比率,其中 RI 对于不同的 n 有确定的取值。当一致性比率 $CR < 0.1$ 时,认为 A 的一致性满足要求,如果不满足则应修改判断矩阵,直到满足一致性为止。

2.2.3 层次总排序及一致性检验

层次总排序计算某一层次所有因素对于最高层(总目标)相对重要性的权值。

设 C 层 m 个因素 C_1, C_2, \dots, C_m ,对总目标 O 的排序为: c_1, c_2, \dots, c_m , P 层 n 个因素对上层 C 中因素为 C_j 的层次单排序为 $p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj}$ ($j=1, 2, \dots, m$),则最底层 P 的层次总排序,即 P 层第 i 个因素对总目标的权值为 $\sum_{j=1}^m c_j p_{ij}$ 。

设 P 层 P_1, P_2, \dots, P_n 对上层(C 层)中因素 C_j ($j=1, 2, \dots, m$)的层次单排序一致性指标为 CI_j ,随机一致性指为 RI_j ,则层次总排序的一致性比率为:

$$CR = \frac{c_1 CI_1 + c_2 CI_2 + \dots + c_m CI_m}{c_1 RI_1 + c_2 RI_2 + \dots + c_m RI_m} \quad (9)$$

当 $CR < 0.1$ 时,认为层次总排序通过一致性检验,层次总排序具有满意的一致性,否则需要重新调整那些一致性比率高的判断矩阵的元素取值。

2.2.4 综合评价

使用权重将每个指标的得分综合,以获得针对每个判据的综合得分。然后,将判据的得分综合,以获得焊缝数字化底片的总体质量评分 Q 。

3 实例分析

为验证本文方法的有效性,分别以射线焊缝底片和铸件数字图像为例进行分析和对比。首先以某企业管道环焊缝射线底片数字化图像为对象进行说明和验证,使用如图3所示的四种质量级别的焊缝图像,计算并对比其各项指标的相对大小程度。在正式评片前,先考察像质计数目,若未达到4条即可判定该数字化底片不可用,则无须进行下一步综合评价过程。通过对底片的大量观察可知,像质计数目一般为4条或5条时,底片质量较好;低于4条时,底片质量便明显变差。即可以通过像质计数目这一角度可将值得进一步评片的数字化底片快速筛选出来。表1展示了这四种质量级别焊缝图像的各指标计算结果。

分析表中数据可知,第一级别的质量合格焊缝图像的平均梯度明显高于其他级别的图像,表明第一级别图像清晰度高、层次感强;其图像信息熵相对

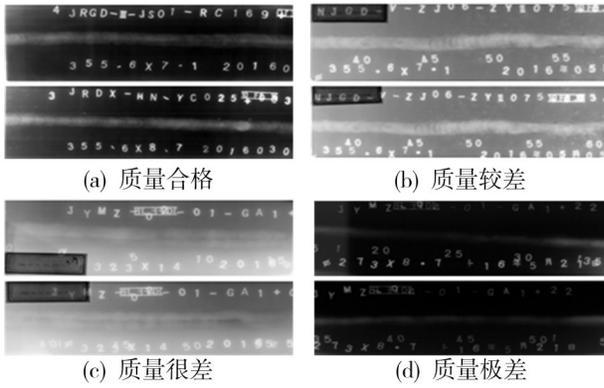


图3 焊缝数字图像的四种质量级别

Fig. 3 Four quality levels for weld digital images

表1 不同质量级别焊缝图像的指标计算结果

Tab. 1 Indicator calculation results for weld images at different quality levels

级别	CON	IE	\bar{I}	\bar{G}
a	0.837 4	6.272 1	110.534 5	11.068 7
b	0.534 1	5.494 0	170.064 9	4.940 4
c	0.553 4	5.716 2	183.530 8	3.770 6
d	0.782 3	4.472 7	24.142 6	4.286 1

于另外三个级别差别较小;最后针对图像平均灰度,可见第一级别图像的灰度值适当,其他级别图像的平均灰度明显过高或过低。因此,若要满足后续评片任务需求,应要求焊缝图像的平均梯度、图像信息熵和对比度较高,且图像平均灰度保存在合适范围水平。

在此基础上,采用基于层次分析法的图像质量综合评价方法,根据判据层各因素间的相对重要程度,可得到如图4所示的判断矩阵A。

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} O & C_1 & C_2 & C_3 \\ C_1 & 1 & 2 & 1 \\ C_2 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ C_3 & 1 & 3 & 1 \end{matrix} \\
 , A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

图4 O-C层之间的判定矩阵A

Fig. 4 Determining matrix A between O-C layers

图4为反映判据层因素两两之间相对重要程度的判断矩阵A,利用和积法求取A的最大特征根 λ_m 和各因子的权重,最后进行一致性检验,所得结果如表2示。

因一致性比率 $CR=0.0076 < 0.10$,可认为A的一致性满足要求。

类似地,求准则层中的 P_1, P_2, P_3 在 C_1 中的权值, P_2, P_4 在 C_2 中的权值如图5示。

表2 判断矩阵A的最大特征值和各因子权重

Tab. 2 The maximum eigenvalues of matrix A and the weights of the factors

λ_m	c_1	c_2	c_3	CR
3.008 8	0.387 3	0.169 8	0.442 9	0.007 6

C_1	P_1	P_2	P_3
P_1	1	1/2	1/2
P_2	2	1	1/2
P_3	2	2	1

$$\lambda_{\max} = 3.0537, CR = 0.0463$$

$$W = (0.01976, 0.31119, 0.4905)^T$$

C_2	P_2	P_4
P_2	1	1
P_4	1	1

$$\lambda_{\max} = 2, CI = CR = 0$$

$$W = (0.50, 0.50)^T$$

图5 C-P层之间的判断矩阵及权值计算结果

Fig. 5 Calculation results of judgment matrix and weights

between C-P layers

最终,经过层次单排序和一致性检验,可得到如图6所示因素影响权重。

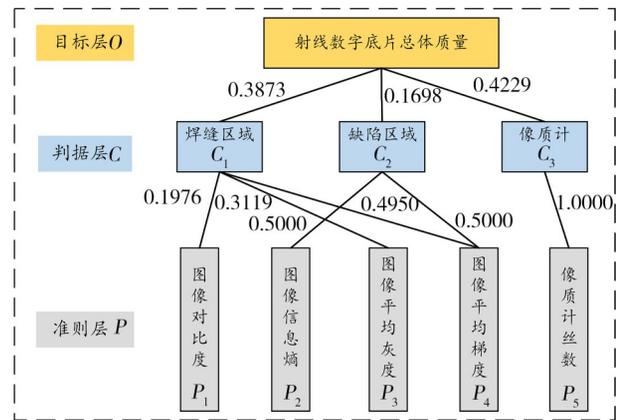


图6 层次结构及各因素影响权重

Fig. 6 Hierarchical structure and the influence weights of various factors

最后进行层次总排序及一致性检验,计算P层所有指标对于最高层(总目标)相对重要性的权值如表3所示。

表3 层次总排序结果

Tab. 3 Hierarchical total sorting result

P层	C_1	C_2	C_3	P层的总排序权值
P_1	10.387 3	0.169 8	0.442 9	0.076 5
P_2	0.197 6	0	0	0.084 9
P_3	0	0.500 0	0	0.120 8
P_4	0.311 9	0	0	0.274 9
P_5	0.490 5	0.500 0	0	0.442 9
P_5	0	0	1.000 0	0.442 9

经一致性检验得,P层总排序的随机一致性比率 $CR=0.0464 < 0.1$,故接受层次分析结果。这样便得到了本文所提指标 P_i 相对于总体质量的权值大小,据此可建立一个综合质量评分指标Q:

$$Q = 0.0765P_1 + 0.0849P_2 + 0.1208P_3' + 0.2749P_4 + 0.4429P_5 \quad (10)$$

该指标将从像质计、焊缝区域、缺陷区域三方面综合所提计算指标,从而反映焊缝数字化图像的总体质量。在计算各个指标时,需注意各自数据处理的方法,如平均灰度(P_3)需要保持在适度范围,而不是越大越好,因此可定义高斯变换函数:

$$P_3' = e^{\left[\frac{(P_3 - 110)^2}{1000} \right]}$$

以灰度值为110为中心位置,计算出的原始平均灰度 P_3 越偏离该中心位置则变换后的值越小;对于像质计数目 N ,该指标评分可按以下函数规定,其中 N 表示像质计数目。

$$Score = \begin{cases} 100\%, N = 5 \\ 70\%, N = 4 \\ 40\%, N < 4 \end{cases} \quad (11)$$

另外,由于不同指标计算结果数量级大小各不相同,所以还需进行归一化处理,再根据层次分析法所得各指标权重 W ,计算综合评分指标 Q 。

表4所示为使用图2所示部分质量合格、较差、很差和极差四种级别焊缝图像得到的综合质量指标 Q 。

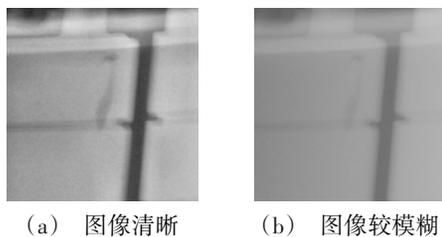
表4 质量级别a、b、c、d焊缝图像的综合质量指标
Tab. 4 Comprehensive quality indicators for weld images at quality levels a, b, c and d

级别	Q	级别	Q
a	0.987 5	c	0.523 9
b	0.684 1	d	0.404 1

由表中数据可知,该综合质量评分指标 Q 能通过对焊缝图像进行综合质量打分,进而表征出图像的整体质量级别。

此外,采用铸件图像对本文所提指标进行说明分析。如图7所示,以重型燃气轮机叶片铸件射线检测图像进行说明,计算并对比其各项指标的相对大小程度。

由于铸件图像本身无焊缝或像质计等特征,本



(a) 图像清晰 (b) 图像较模糊

图7 两种质量级别的叶片铸件图像

Fig. 7 Images of two quality levels of blade castings

文所提质量评价指标将应用于铸件图像整体,结果如表5所示。

表5 两种质量水平铸件图像质量评价指标对比
Tab. 5 Comparison of image quality evaluation indicators for two quality levels of castings

级别	CON	IE	\bar{I}	\bar{G}
a	0.685 8	6.626 5	160.429 2	16.688 5
b	0.342 6	5.885 1	153.643 7	5.580 8

在对两张不同质量水平的铸件图像(a)和(b)进行深入的图像特征分析后,发现两者在对比度、信息熵、平均灰度以及图像平均梯度这四个关键参数上表现出显著差异。

首先,从图像对比度的角度看,图像(a)的对比度值明显高于(b),说明前者的铸件边缘轮廓更为清晰,细节层次更丰富,这对于精准识别铸件结构及缺陷具有重要意义。信息熵方面,图像(a)的信息熵略高于(b),信息熵是衡量图像中信息量多少的一个重要指标,高信息熵意味着图像包含更多的随机性和复杂性,因此可以推断出图像(a)中铸件的表面纹理或者内部结构信息更为丰富和复杂。再者,观察平均灰度值,图像(a)的平均灰度也略高于图像(b),表明图像(a)的整体亮度可能相对较高,这有助于提高图像的可读性和整体的视觉清晰度。在某些情况下,足够的亮度可以帮助抑制背景噪声的影响,尤其是在低照度条件下拍摄的图像,较高的亮度有利于改善信噪比,从而提高检测的准确性和可靠性。最后,关于图像平均梯度,图像(a)的平均梯度明显高于图像(b),这意味着图像(a)的局部变化更加剧烈,边缘信息更为突出,对于需要精确检测微小结构变形或缺陷的铸件质量评估来说,图像(a)提供的视觉信息更具优势。基于以上四个图像特征参数的定量分析,可以初步得出结论:在本次研究中,图像(a)在对比度、信息熵以及平均梯度等多方面均优于图像(b),展现出更高的图像质量和更为丰富的铸件信息,更适合用于高质量的铸件检测与分析任务。

综合以上分析,通过考察图像对比度、信息熵、平均灰度以及图像平均梯度等核心质量指标,能够充分量化评估铸件或焊缝图像的质量差异。

4 结论

(1)以射线数字化底片为对象,基于实际评片工作中底片需满足的质量要求,从像质计、焊缝区域和缺陷区域的质量特征加以分析,并据此相应地建立了面向评片任务的焊缝数字化底片质量评价指标体系。

(2)基于层次分析法和所提指标,提出了多区域

图像质量综合评价方法,从像质计、焊缝区域和缺陷区域多方面对指标进行综合考虑,增强了指标间的关联性,提高了评价过程的层次化。

(3)以实际焊缝和铸件数据对所提方法进行了验证和说明,结果表明所提方法能够对不同质量等级的数字化底片图像进行质量评分,真实有效地反映图像的质量水平。

参考文献

[1] GB/T 26141.1—2010《无损检测射线照相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》[S]. 2011.

GB/T 26141.1—2010 Non-destructive testing-qualification of radiographic film digitisation systems-Part1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control[S]. 2011.

[2] 雷铮强,王维斌,李立军.中俄东线管道射线检测底片图像的智能识别[J].无损检测,2022,44(4):73-78.

LEI Zhengqiang, WANG Weibin, LI Lijun. Intelligent recognition of radiographic inspection film images of China-Russia east line pipeline [J]. Nondestructive Testing, 2022, 44 (4):73-78.

[3] GB/T 23901.1—2019《无损检测 射线照相检测图像质量 第1部分:丝型像质计像质值的测定》[S]. 2019.

GB/T 23901.1—2019 Non-destructive testing-image quality of radiographs-Part 1: Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators[S]. 2019.

[4] 王思宇.环口焊X射线焊缝缺陷自动评级系统[D].西安:西安石油大学电力电子与电力传动,2021.

WANG Siyu. X-ray Weld Defect Automatic Rating System for Girth Welds [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2021.

[5] 惠子薇,何坤,冯霖,等.基于视觉特性的图像质量评价[J].计算机工程,2023,49(7):189-195.

HUI Ziwei, HE Kun, FENG Ben, et al. Image quality assessment based on visual characteristics [J]. Computer Engineering, 2023, 49(7): 189-195.

[6] 于淼淼,郑元林,廖开阳,等.基于视觉感知高度相关的图像质量评价[J].西安理工大学学报,2019,35(2):224-233.

YU Miaomiao, ZHENG Yuanlin, LIAO Kaiyang, et al.

Image quality evaluation based on high correlation of visual perception[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2019, 35(2):224-233.

[7] 高敏娟,党宏社,魏立力,等.基于非局部梯度的图像质量评价算法[J].电子与信息学报,2019,41(5):1122-1129.

GAO Minjuan, DANG Hongshe, WEI Lili, et al. Image quality assessment algorithm based on non-local gradient [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2019, 41 (5): 1122-1129.

[8] 侯春萍,李浩,岳广辉.局部和全局特征融合的色调映射图像质量评价[J].湖南大学学报(自然科学版),2019,46(8):132-140.

HOU Chunping, LI Hao, YUE Guanghui. Quality assessment of tone-mapped images using local and global features [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2019, 46(8):132-140.

[9] 齐亚欣,陈嵩.一种基于多元回归的射线数字图像影响因子的权重分配方法[J].无损检测,2018,40(8):6-9,14.

QI Yaxin, CHEN Song. A weight assignment method for influencing factors of radiographic digital images based on multiple regression [J]. Nondestructive Testing, 2018, 40 (8): 6-9,14.

[10] 张翔松.X射线焊缝图像质量评价及质量提高方法研究[D].西安:西安石油大学电气工程,2021.

ZHANG Xiangsong. Image Research on Quality Evaluation and Improvement Method of X-ray Weld [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2021.

[11] 魏业文,姜恒,杨文超,等.基于自适应层次分析法和变权理论的输电线路铁塔关键指标体系评价方法[J].科学技术与工程,2022,22(8):3144-3151.

WEI Yewen, JIANG Heng, YANG Wenchao, et al. Evaluation method for key index system of transmission tower based on self-adaptive analytic hierarchy process and variable weight theory [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22 (8):3144-3151.

[12] 曹康.基于IAHP和灰色关联分析的海洋平台压力容器安全评价[D].兰州:兰州理工大学,2016.

CAO KANG. Pressure Vessel Safety Assessment Based on IAHP and Gray Correlation Analysis of Offshore Platform [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2016.