

## 基于形态学滤波的中厚板边部裂纹检测方法

宗德祥<sup>1</sup>, 何永辉<sup>1</sup>, 张林鹏<sup>2</sup>, 彭铁根<sup>1</sup>

(1. 宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

**摘要:**介绍了数学形态学的原理和应用, 针对中厚板表面图像存在的低对比度、背景复杂和氧化皮干扰等问题, 分析表面裂纹的形态特性, 提出了基于多重形态滤波和图像块累积直方图分析的表面裂纹在线检测方法。通过与其他形态学方法的对比试验, 表明该方法不仅能有效地消除噪音干扰、更为准确地检测裂纹, 而且能够满足实际生产的实时性需求。

**关键词:**中厚板; 边部裂纹; 形态学滤波; 图像块分析; 缺陷检测

**中图分类号:**TP274<sup>+</sup>.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1008-0716(2014)03-0030-05

**doi:**10.3969/j.issn.1008-0716.2014.03.006

### Plate edge crack detection method based on morphological filter

ZONG Dexiang<sup>1</sup>, HE Yonghui<sup>1</sup>, ZHANG Linpeng<sup>2</sup> and PENG Tiegen<sup>1</sup>

(1. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China;

2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shanxi, China)

**Abstract:** The principle and application of mathematical morphology is introduced, in view of the plate surface image is low contrast, complex background and with iron oxide interference, one solution based on multiple morphology filter and image blocks cumulative histogram analysis is proposed to find the true crack. By comparing with other methods, this method not only can effectively eliminate the noise interference, more accurate detection of cracks, and can meet the real time requirement of actual production.

**Key words:** plate; edge crack; morphological filtering; analysis of image blocks; defect detection

中厚板在现代工业中, 如建筑工程、机械制造等领域都有重要的应用, 但由于生产设备和工艺等原因, 使得中厚板在生产过程中会出现表面裂纹等缺陷, 从而影响了钢板性能和质量。然而, 目前的检测一般都是通过人眼目测完成, 这种方法不仅存在效率低下、置信度低等问题, 而且恶劣的检测环境还会影响检测人员的身心健康。因此, 亟需发展中厚板表面缺陷的在线自动检测方法。

图像处理技术近年来越来越多地应用于工业产品的在线监测, 特别是在冷轧带钢和热轧带钢

的表面缺陷在线检测中获得成功应用, 使得基于图像处理技术的中厚板表面检测方法受到更多关注。

中厚板表面图像存在背景对比度低, 有氧化皮、颗粒噪音等干扰, 以及裂纹形态变化较多等情况, 使得表面裂纹的在线检测非常困难, 一些传统的方法很难准确地检测。而数学形态学由于其直观而快速的特点, 已经被研究用于钢板缺陷检测。但是, 基于形态学高帽变换或其改进形式的检测方法<sup>[1-3]</sup>会受到钢板复杂背景和噪音的影响, 而形态小波的检测方法<sup>[4]</sup>检测的仅选用垂直细节信息, 会出现裂纹区域检测不完整。因此, 本文提出了一种基于多重形态学滤波和图像块累积直方图分析的方法, 该方法能够准确、有效地检测出中厚板表面最为常见且影响严重的表面边部裂纹。

宗德祥 工程师 1980 年生 2005 年毕业于哈尔滨工业大学  
现从事带钢表面检测研究 电话 26649756  
E-mail zongdexiang@baosteel.com

## 1 数学形态学概述

数学形态学是法国巴黎矿业学院科学家 G. Matheron 和 J. Serra 在 1964 年建立的一门具有严格数学理论基础的学科。它以几何学为基础,将集合论作为描述语言,利用不同形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,达到图像分析和目标识别的目的。

### 1.1 形态学基本运算

形态学的两种最基本运算是膨胀和腐蚀,它们的不同组合构成了各种具有不同功能的形态学算法。灰度形态学是二值形态学的推广,其处理对象和结构元素是灰度函数,令  $f(x, y)$  表示灰度图像,  $b(x, y)$  表示结构元素,  $D_f$  和  $D_b$  分别表示  $f$  和  $b$  的定义域,则利用结构元素对图像进行形态操作定义如下:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s - x, t - y) + b(x, y) \mid (s - x, t - y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (1)$$

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s + x, t + y) - b(x, y) \mid (s + x, t + y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (2)$$

根据膨胀和腐蚀运算,定义灰度形态学的开运算和闭运算:

$$(f \circ b) = (f \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

$$(f \cdot b) = (f \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

开、闭运算中的膨胀和腐蚀操作采用相同的结构元素。开操作用于去除相对结构元素较小的明亮细节,而闭操作则用于除去图像中的暗细节部分,且两个操作都会相对地保持图像的整体灰度级不变。

### 1.2 形态学滤波

由灰度形态学基本运算的定义可以看出,膨胀和腐蚀的实质就是以结构元素作为滑动滤波窗,搜寻图像在窗口内的灰度极大值或极小值,即相当于局部最大和最小滤波运算。形态开、闭运算就是由膨胀和腐蚀组合而成的复合极值运算,是最基本的形态滤波器。

在图像处理中,将 4 个形态学操作:膨胀、腐蚀、开运算和闭运算进行有效地结合,可以构成多种滤波器,用以提取信号、保持细节和抑制噪声。常见的应用算法有骨架提取、平滑处理、形态学梯度、Top-Hat 变换、纹理分割等。

另外,形态学滤波的效果还与结构元素的尺寸和形状紧密相关,处理图像时,应依据不同的目标而选用恰当的结构元素。

## 2 基于形态学滤波的边部裂纹检测

### 2.1 缺陷区域预判定

Miguel Gavilan<sup>[5]</sup>等在道路裂纹检测系统中,利用裂纹区域亮度低于周围区域的特点,采用滑动窗和累积直方图分析的方法作为前处理步骤,其输出结果是相对于原图的降采样图像。该操作能够有效地减少噪音干扰,并凸显裂纹区域特征。根据上述方法,观察钢板表面裂纹也具有类似特性,如图 1 所示。

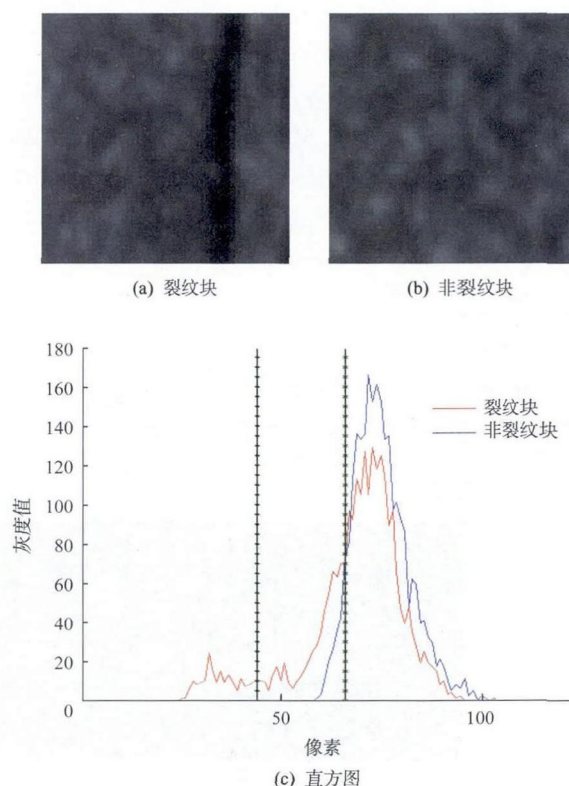


图 1 裂纹块和非裂纹块的图像及相应直方图

Fig. 1 Crack block and non-cracking block image with its histogram

利用裂纹块和非裂纹块图像的直方图差异,计算每个图像块的累积直方图  $M_i = \sum_{j=0}^i m_j$ , ( $i = 0, \dots, 255$ ), 当累积值  $M_i$  达到预设的阈值时,将  $i$  作为该图像块的输出灰度值。采用固定大小的滑动窗对待测图像全图进行无重叠的扫描,每个图像块得到一个输出灰度级  $i$ ,即可得到一幅降采样图像。对降采样图像进行 Otsu 自适应阈值二值化,并将每个像素点二值化结果映射到原图相应的图像块,则可优先判定出图像中的潜在裂纹区域。

## 2.2 多重形态学滤波

在图像处理中,可以将开运算和闭运算相结合,消除图像中的亮和暗因素或噪声,达到图像平滑处理的目的。一般情况下,形态学平滑滤波器的具体算法是:选取一个合适的结构元素  $b$ ,先使用  $b$  对图像进行闭操作,然后对上面结果使用  $b$  再进行开操作,用式(5)表示:

$$(f \cdot b) \circ b = \{[(f \oplus b) \ominus b] \ominus b\} \oplus b \quad (5)$$

类似的,还有一种形态滤波算法如式(6):

$$(f \circ b) \cdot b = \{[(f \ominus b) \oplus b] \oplus b\} \ominus b \quad (6)$$

在应用中,具体选用哪一个滤波算法取决于图像本身的特点和噪音信号的性质。

然而,中厚板的表面裂纹存在粗细差异较大的情况,因此选用单一大小的结构元素无法滤除所有的裂纹缺陷。所以,为了能够完整地滤除裂纹,提取图像的背景信息,本文针对不同粗细的裂纹,选用三种不同大小的结构元素来凸显更为准确的裂纹信息。

## 2.3 裂纹缺陷检测算法

根据中厚板的边部裂纹呈现灰度级较低、近似垂直分布的特性,提出了基于多重形态学滤波的表面裂纹检测算法。具体算法流程如图2

所示。

实际生产中,由 CCD 摄像机获取的中厚板表面图像如图 3(a) 所示。由于边部裂纹仅存在于钢板边部附近区域,且呈现近似垂直分布,所以首

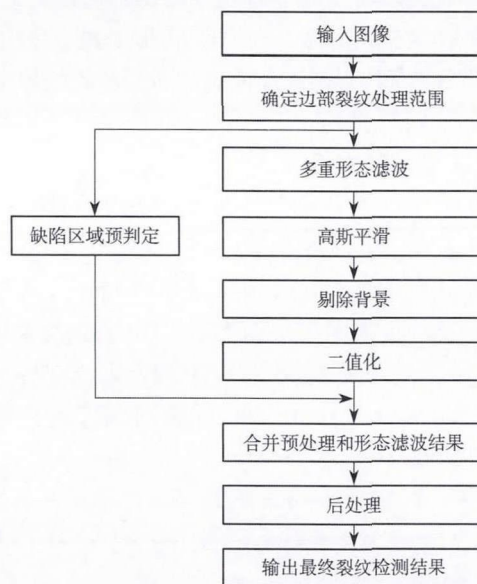
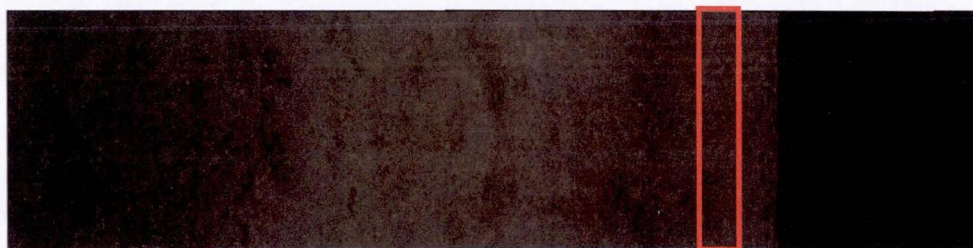


图 2 基于形态学滤波的裂纹检测算法流程

Fig. 2 Flow of crack detection algorithm based on morphological filtering



(a) 原始中厚板表面图像



(b) 边部裂纹的检测区域



(c) 缺陷区域预判定结果

图 3 裂纹缺陷检测算法的预处理结果

Fig. 3 Pretreatment results of crack defect detection algorithms



先确定钢板边部位置,得到裂纹的大致区域,并根据 2.1 所述方法预先判定潜在的缺陷块,判定结果如图 3(c) 所示。然后,采用多重形态滤波提取图像背景信息。先利用形态开操作去除小的亮点噪音,而后根据 2.2 所述,本文选用先闭后开的形态操作,选用三种不同大小的结构元素分别针对裂纹粗细不均的情况。为了使提取的钢板背景更为平滑,利用高斯平滑消除图像中变化较为剧烈的区域。接着,运用图像相减操作,突显出图像中较暗区域,直接阈值二值化得到裂纹区域。

为了消除伪缺陷,将预处理结果与基于多重形态滤波的检测结果相结合,即保留滤波检测结果中存在于潜在裂纹块的那些裂纹区域。

最后,根据裂纹的一些形态特性,如大小、形状等,进行连通域分析,剔除伪缺陷区域,并输出最终的裂纹检测结果。

### 3 试验与结果分析

为了评估本文方法的性能,将提出的方法用 C 语言实现,对实际生产中的中厚板表面图像进行测试,并与 Top-Hat 变换和单次形态滤波的检测算法进行比较,见图 4~7。

通过试验结果可以看出,相对于其他方法,本文提出的基于多重形态滤波和缺陷区域预判定的方法能够获得更好的检测结果。特别是针对中厚板低对比度的复杂表面情况,本文方法都能取得不错的检测结果,且时间性能较优。

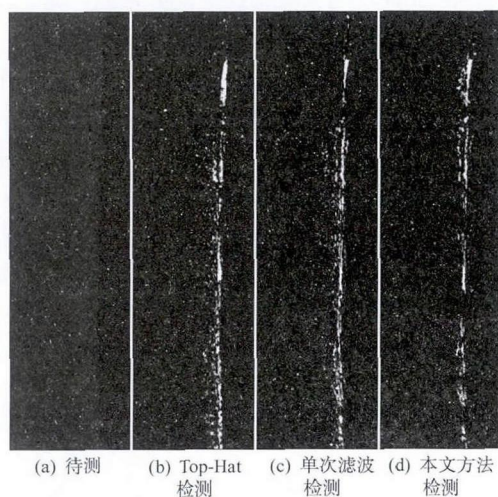


图 4 低对比度表面图像的检测结果

Fig. 4 The detection results of low-contrast image

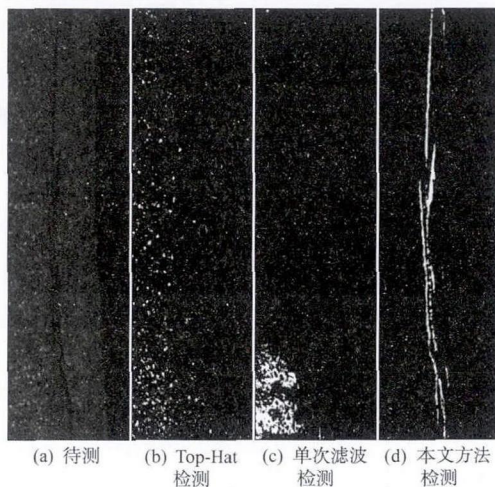


图 5 光照不均图像的检测结果

Fig. 5 The detection results of uneven illumination image

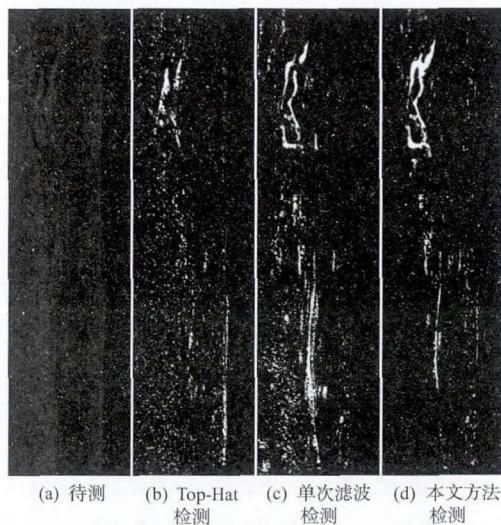


图 6 噪音干扰严重图像的检测结果

Fig. 6 The detection results of the noise image

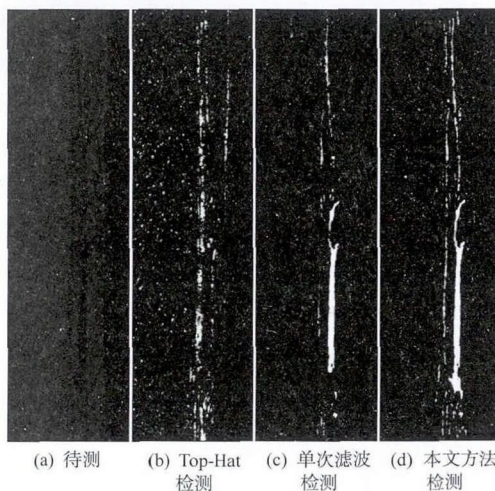


图 7 裂纹粗细不均图像的检测结果

Fig. 7 The detection results of uneven thickness crack image

## 4 结语

传统方法对于中厚板板面低对比度、噪音影响和氧化皮等复杂情况,很难准确检测出表面裂纹。针对问题,本文分析了中厚板表面裂纹的形态特性,提出了基于多重形态滤波和缺陷区域预判定的检测方法。缺陷区域预判定有效地减少了噪音点的干扰,而多重形态滤波选用不同大小的结构元素,很好地解决了表面裂纹粗细不均的情况。试验证明,本文提出的方法具有较强的抗噪性,检测更为精确,且实现速度快,能适应实际生产的实时性需求。

## 参 考 文 献

- [1] 徐科,孙浩,杨朝霖,等. 形态滤波在中厚板表面裂纹在线检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,2006,27(9):1008-1011.
- [2] 汤勃,孔建益,王兴东,等. 基于数学形态学的带钢表面缺陷检测研究[J]. 钢铁研究学报,2010,22(10):56-59.
- [3] 虞伟. 基于数学形态学的工业在线检测系统研究[D]. 湖南:湖南大学,2008:38-40.
- [4] 吴贵芳,徐科,徐金梧,等. 形态小波在中厚板表面裂纹缺陷检测中的应用[J]. 北京科技大学学报,2006,28(6):591-594.
- [5] Miguel Gavilán, David Balcones, Marcos O, et al. Adaptive Road Crack Detection System by Pavement Classification[J]. Sensors,2011(11):9628-9657.

(收稿日期:2013-09-29)

## 专利信息

### 一种卷取机单机运行时的安全保护机构

专 利 号:ZL200620041373.4

专利权人:上海梅山钢铁股份有限公司

发明(设计)人:杜家明 王鑫磊 邬海龙

本实用新型涉及一种卷取机单机运行时的安全保护机构,解决了在多台卷取机运行方式下因一台卷取机发生异常或废钢事故而其他卷取机无法单机运行的缺陷。技术解决方案是:一种卷取机单机运行时的安全保护机构,包括:弧形防护板、固定板、筋板,固定板呈水平布置与弧形防护板形成垂直面交接,位于弧形防护板中下部,在弧形防护板上设有多道筋板,两端筋板延伸到弧形防护板下端,底部为弧形,架接在过桥辊上,两端筋板带有销孔,固定板上设有方形螺孔,用固定插销和方形带孔螺栓将安全保护机构固定卷取机前侧导板上。弧形防护板的弧度为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,其上端设有拐点下倾的挡板。当一台卷取机单机运行时,本实用新型就在过桥辊道上形成了一道安全有效的保护机构。

### 扭矩防滑链轮装置

专 利 号:ZL200620045371.2

专利权人:上海梅山钢铁股份有限公司

发明(设计)人:滕宏胤 冯春荣 李 波

本实用新型涉及夹具上的链式传动中的大链轮,特别涉及防止大链轮在传递扭矩的过程中打滑的扭矩防滑链轮装置。主要解决摩擦片长时间使用摩擦因数降低的技术问题。本实用新型的技术方案为:一种扭矩防滑链轮装置,包括轴套、摩擦环、大链轮、调节螺母,大链轮、摩擦环依次套接在轴套上,大链轮与轴套间隙配合,摩擦环通过旋接在轴套上的调节螺母固定,其特征是:在大链轮的端面沿圆周方向开有均匀布置的多个通孔,在通孔内安置弹簧,在与通孔对应轴套和摩擦环开有半球形槽,槽内安置有弹子,弹簧的弹力将弹子紧紧压靠在轴套本体和摩擦环上。为防止调节螺母产生轴向位移,在调节螺母周向设置多个锁紧螺栓,锁紧螺栓的顶端固定在轴套的键槽内。本实用新型主要用于防止大链轮在传递扭矩的过程中打滑。

(宝山钢铁股份有限公司科技发展部供稿)