

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.11.013

基于热图像分析的电梯闸皮 不均匀磨损检验方法研究

王逸铭¹, 吴 尽², 胡建中^{1*}, 彭 英¹

(1. 东南大学 机械工程学院, 江苏 南京 211189; 2. 江苏省特种设备
安全监督检验研究院 扬州分院, 江苏 扬州 225000)

摘要:针对电梯闸皮易出现不均匀磨损故障导致电梯制动失效问题,对电梯闸皮不均匀磨损发生原因和对电梯制动影响进行了归纳,对电梯制动的系统内能变化进行了理论分析和研究,得到了电梯制动时闸皮表面的热流率变化情况。提出了一种基于热像图像分析的电梯闸皮不均匀磨损检验方法,采集了电梯制动时闸皮表面的红外热像图像,过滤了采集过程中出现的混合噪声,提取了等温线特征向量和闸皮边缘特征向量,通过计算等温线特征向量与电梯闸皮的边缘特征向量之间的弗雷歇距离,表征了被测电梯闸皮的不均匀磨损程度,并对正常闸皮与不均匀磨损闸皮的红外热像图像进行了对比分析。研究结果表明:该方法可以解决电梯在不解体情况下无法定量检测闸皮不均匀磨损问题。

关键词:电梯制动性能;不均匀磨损;红外热像图像;混合降噪;弗雷歇距离

中图分类号:TH117.1;TU857

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)11-1210-04

Test method to elevator's brake shoe's uneven wear based on thermal image analysis

WANG Yi-ming¹, WU Jin², HU Jian-zhong¹, PENG Ying¹

(1. School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China; 2. Jiangsu Special
Equipment Safety Supervision and Inspection Research Institute Yangzhou branch, Yangzhou 225000, China)

Abstract: Aiming at the problem of elevator braking failure caused by the uneven wear of the elevator brake, the reasons for the uneven wear and the influence of the elevator brake were summarized. The internal energy change of the elevator brake system was analyzed and studied. The change of the heat flux on the surface of the elevator brake was obtained, and a kind of elevator brake based on the thermal image analysis was put forward. The uneven wear test method was used to collect the infrared thermal image of the brake skin on the elevator brake, the mixed noise in the collection process was filtered out, the isotherm feature vector and the gate edge feature vector was extracted, and the uneven wear degree of the elevator brake skin was characterized by calculating the frying distance between the characteristic vector of the isothermal line and the edge eigenvector of the elevator brake. The results indicate that this method can detect the uneven wear of the elevator brake, and figure out the problem that the elevator can not detect the uneven wear of the brake under the condition of undisintegration.

Key words: braking performance of elevator; uneven wear; infrared image; mixed noise reducing; Frechet distance

0 引 言

国家标准对电梯的安全性能有明确的要求,《电梯

制造与安装安全规范》中 12.4.2.1 和《电梯试验方法》中 4.1.11 对电梯的制动性能要求为^[1-2]: 电梯装载 125% 额定载荷下行时,操作制动器应能使电梯制动,且

收稿日期:2018-02-09

作者简介:王逸铭(1992-),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要从事机械测控方面的研究。E-mail:hj0902@163.com

通信联系人:胡建中,男,副教授,硕士生导师。E-mail:hjz@seu.edu.cn

制动减速度不超过安全钳动作或轿厢撞击缓冲器所产生的减速度。电梯制动原理是在电梯制动的过程中,闸皮抱紧制动轮,利用闸皮与制动轮之间的摩擦力和摩擦力矩提供电梯制动时所需要的制动力和制动力矩,因此闸皮的制动性能对电梯的制动性能有着重要的影响。电梯闸皮在安装调试和运行过程中可能会存在着两侧闸皮不对心、安装位置倾斜等情况出现,导致在电梯运行过程中制动轮与闸皮没有完全贴合,摩擦过程中产生的摩擦能量和摩擦热没有均匀分担到闸皮表面上,导致闸皮的不均匀磨损情况出现,减弱电梯制动力和制动力矩,最终导致电梯制动失效^[3-4]。《电梯主要安全部件报废技术条件》中指出^[5]:当电梯闸皮严重磨损,导致电梯制动力不足时,需要对电梯闸皮进行报废。

基于红外热像图像的故障诊断与状态监测技术已经很成熟。马翠红等学者^[6]将红外热像成像方法应用于钢水测温领域中;国内学者石誉宁^[7]在 2017 年将红外成像技术应用到了配电柜故障监测与诊断中。然而,目前还没有能够在电梯不解体情况下对电梯闸皮的磨损程度特别是不均匀磨损程度的检验方法。

基于电梯制动时的闸皮温度变化原理,本文将通过采集电梯制动时的红外热像图像,对热像图像进行处理和分析,提取闸皮边缘特征向量和等温线向量,计算两向量之间的弗雷歇距离,使用弗雷歇距离定量表征闸皮的不均匀磨损程度,从而达到对闸皮的不均匀磨损检测的目的。

1 电梯闸皮不均匀磨损的检验方法

本文中采用的检测电梯闸皮不均匀磨损的流程如图 1 所示。



图 1 电梯闸皮不均匀磨损的检验流程

具体步骤如下:

(1) 红外热像图像采集。使用红外热像仪拍摄采集被测电梯闸皮制动时的红外热像图像,设置红外热像图像的像素尺寸为横向长度 50 像素,纵向高度 50 像素;

(2) 红外热像图像处理。对红外热像图像进行降噪处理^[8],过滤红外热像图像中的椒盐噪声和高斯噪声,提高信噪比,基于阈值判别的方法对红外热像图像进行特

征提取,提取出红外热像图像中的等温线特征向量;

(3) 图像分析与闸皮不均匀磨损的检验。计算等温线特征向量和闸皮初始边缘特征向量之间的相似度^[9],等温线特征向量与边缘特征向量之间的相似程度表征了被测电梯闸皮的不均匀磨损程度,从而检测电梯闸皮不均匀磨损程度。

1.1 红外热像图像的降噪处理与特征提取

红外热像图像中,噪声主要包括两种形式:椒盐噪声和高斯噪声,其来源主要是红外焦平面阵列噪声、电子电路噪声、传感器噪声、背景辐射噪声等^[10]。对含有混合噪声的红外热像图像采取分别降噪处理的方法,即先对图像中的椒盐噪声点进行椒盐噪声点降噪,然后再对经过椒盐降噪的图像进行高斯噪声降噪。

针对椒盐噪声,首先识别红外热像图像中所有的椒盐噪声点,之后将识别出的椒盐噪声点用其附近邻域点的加权平均值代替,其降噪表达式为:

$$L_{(i,j)}^{(1)} = \frac{1}{6}(2L_{(i,j-1)}^{(0)} + 2L_{(i,j+1)}^{(0)} + L_{(i-1,j)}^{(0)} + L_{(i+1,j)}^{(0)}) \quad (1)$$

式中: $L_{(i,j)}^{(1)}$ —红外热像图像中的椒盐噪声点位置 (i,j) 降噪之后的值; $L_{(i,j)}^{(0)}$ —未降噪前的红外热像图像中位置 (i,j) 的值。

针对高斯噪声,其降噪表达式为:

$$\hat{L}_{(i,j)}^{(1)} = L_{(i,j)}^{(1)} - \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2}(L_{(i,j)}^{(1)} - \bar{L}_{(i,j)}^{(1)}) \quad (2)$$

式中: $\hat{L}_{(i,j)}^{(1)}$ —高斯降噪后红外热像图像像素点位置 (i,j) 的值; $\bar{L}_{(i,j)}^{(1)}$ —经过椒盐降噪之后的红外热像图像像素点位置 (i,j) 处的 8-邻域均值。

σ_0^2 和 σ_1^2 的计算方法如下:在大小为 3×3 的滤波窗内,计算以窗内任一像素点为中心的 3×3 窗口内的像素值方差 σ_s^2 , σ_1^2 为其中的最小值, $\sigma_1^2 = \min\{\sigma_s^2\}$; σ_0^2 表示以 (i,j) 为中心的 3×3 窗口内的像素值方差。通过高斯降噪可以减少高斯噪声对红外热像图像的干扰,提高红外热像图像的信噪比。

提取经过混合降噪后的红外热像图像中的等温线特征,形成等温线特征向量 I ,使用阈值判别的方式提取等温线特征向量 I ,阈值 V_k 计算式为:

$$V_k = \min\{\hat{L}_{(i,j)}^{(1)}\} + k \cdot \frac{\max\{\hat{L}_{(i,j)}^{(1)}\} - \min\{\hat{L}_{(i,j)}^{(1)}\}}{n-1} \quad (3)$$

式中: $\{\hat{L}_{(i,j)}^{(1)}\}$ —高斯降噪后红外热像图像像素点位置 (i,j) 值的集合, $i,j = 1,2,\dots,50$; $\min(\max)$ —集合中的最小(大)值; n —阈值数量,本文中 $n = 5$; k —阈值下标, $k = 0,1,2,3,4$ 。

对任一阈值的等温线特征提取流程图如图 2 所示。

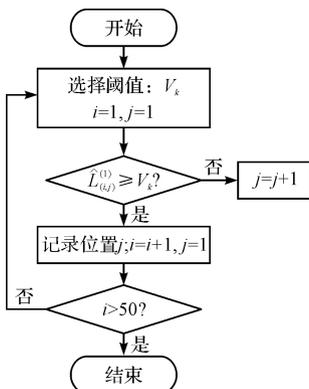


图 2 等温线特征向量提取流程图

从红外图像中逐行提取第一次达到或者超过阈值温度值的列位置,将每一行提取出的行向量合成该阈值下的等温线特征向量 $\mathbf{I} = [j_1, j_2, \dots, j_{50}]^T$ 。

1.2 基于弗雷歇距离的电梯闸皮不均匀磨损度分析

弗雷歇距离是法国数学家 Maurice René Fréchet 在 1906 年提出的一种路径空间相似形描述算法,能够很好地表征两个向量之间的相似程度^[11]。

闸皮无不均匀磨损时,电梯制动时闸皮均匀受热,等温线特征向量 \mathbf{I} 应与闸皮的初始边缘特征向量 \mathbf{E} 的曲线形状相似;闸皮出现不均匀磨损的情况,闸皮制动时仅有部分接触到制动轮,制动时部分受热,则在闸皮与制动轮接触的部分等温线特征与边缘特征相似,而闸皮与制动轮不接触的部分,闸皮的等温线特征与边缘特征不相似,且不均匀磨损越严重,不相似程度越大。

本研究采用弗雷歇距离表征两个向量之间的相似度,通过对两个特征向量之间相似程度的对比和计算,得出被测电梯闸皮的不均匀磨损程度。电梯闸皮制动时等温线特征向量 \mathbf{I} 与其边缘特征向量 \mathbf{E} 之间的弗雷歇距离 S_{pri} 计算步骤如下:

(1) 去均值化边缘特征向量与等温线特征向量,即:

$$\begin{cases} \bar{\mathbf{E}} = [\mathbf{E} - \text{mean}(\mathbf{E})] \\ \bar{\mathbf{I}} = [\mathbf{I} - \text{mean}(\mathbf{I})] \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\text{mean}(\mathbf{E})$ — 边缘特征向量 \mathbf{E} 的平均值; $\text{mean}(\mathbf{I})$ — 等温线特征向量 \mathbf{I} 的平均值。

(2) 计算去均值化之后的等温线特征向量 $\bar{\mathbf{I}}$ 与边缘特征向量 $\bar{\mathbf{E}}$ 之间的弗雷歇距离 S_{pri} , 即:

$$S_{pri} = \inf \{ d(\bar{\mathbf{E}}^{(\alpha)}, \bar{\mathbf{I}}^{(\beta)}) \}_{\max} \quad (5)$$

式中: $d(\bar{\mathbf{E}}^{(\alpha)}, \bar{\mathbf{I}}^{(\beta)})$ — 去均值化之后的边缘特征向量和等温线特征向量中的任意一点 (i_α, j_α) 和 (i_β, j_β) 的欧氏距离。

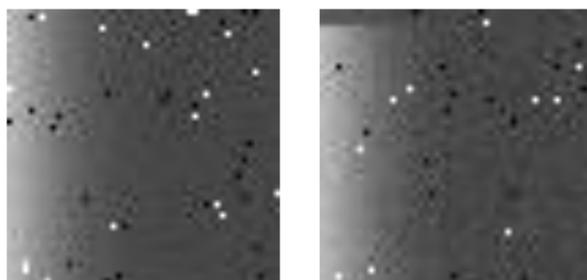
两个向量之间的弗雷歇距离 S_{pri} 表示两个向量之间任意两点之间的欧式距离最大值数集的下确界,弗

雷歇距离越小表示两个向量之间的相似程度越大。

2 仿真试验

本文使用 Matlab 仿真,得到无不均匀磨损的电梯闸皮制动和不均匀磨损严重(不均匀磨损率 8%) 的电梯闸皮制动时的红外热像图像共 200 幅,每幅红外热像图像都包含了 1% 的椒盐噪声和均值为 0、方差为 25 的高斯噪声,使用本文提出的混合降噪方法对含噪红外热像图像进行降噪。

电梯正常闸皮制动和不均磨损严重的闸皮制动时的红外热像图像如图 3 所示。



(a) 正常制动 (b) 不均匀磨损严重制动

图 3 正常制动和不均磨损严重的闸皮制动热像图像

由于峰值信噪比 $PSNR$ 常常用来衡量处理之后的图像与原始图像的相似程度,本文使用 $PSNR$ 作为红外热像图像降噪处理的评价标准(单位 dB , 峰值信噪比越大表示降噪后的图像越接近于原图像)。峰值信噪比的计算公式为:

$$\begin{cases} PSNR = 10 \times \log \frac{255^2}{MSE} \\ MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum \sum \|f(x, y) - g(x, y)\|^2 \end{cases} \quad (6)$$

式中: MSE — 均方根函数,表示原图像 $f(x, y)$ 与降噪后的图像 $g(x, y)$ 中每一处像素点的像素值的距离。

闸皮制动时的红外热像图像及其降噪之后的图像的峰值信噪比如图 4 所示。

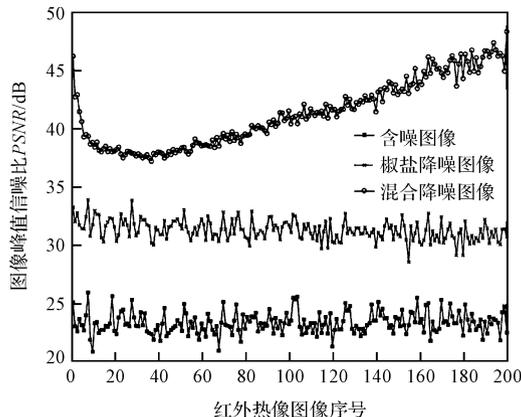


图 4 图像峰值信噪比 $PSNR$

由图 4 可以看到:在 200 幅红外热像图像中,含混合噪声的红外热像图像的 $PSNR$ 仅在 23 dB 左右,经过式(1)滤去图像中的椒盐噪声之后的红外热像图像的 $PSNR$ 提升了约 10 dB 左右,再经过式(2)处理降低高斯噪声的影响之后的红外热像图像的 $PSNR$ 比原含噪图像提升了 20 dB 左右。可见,本文提出的混合降噪方法提高了图像的信噪比,降噪效果明显。

根据式(3)提取降噪后的红外热像图像中的等温线特征,并计算等温线特征向量与电梯闸皮的初始边缘特征向量之间的弗雷歇距离,结果如图 5 所示。

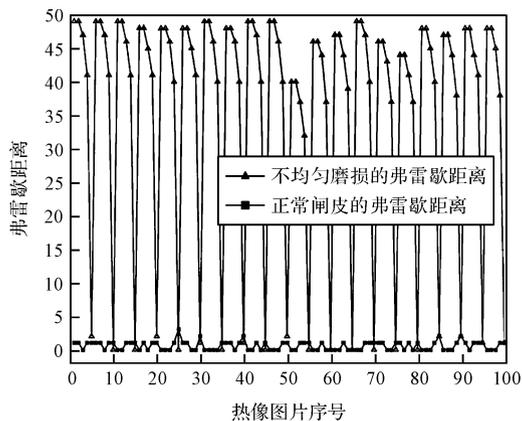


图 5 等温线特征向量与边缘特征向量相似度

由图 5 可知:正常电梯闸皮在制动时的等温线特征向量与边缘特征向量的弗雷歇距离较小,在(0,2)之间;而不均匀磨损严重的电梯闸皮在制动时的等温线特征向量与边缘特征向量的弗雷歇距离较大,在(2,50)区间之间,表示两者相似程度很小。仿真试验验证了基于弗雷歇距离的电梯闸皮不均匀磨损检测方法的可行性。

3 结束语

针对实际应用中电梯闸皮在不解体情况下无法定量检测电梯闸皮不均匀磨损的问题,本文使用基于弗雷歇距离的向量相似度比较方法检测电梯闸皮的不均匀磨损程度。

本文提出的对电梯闸皮不均匀磨损的检验方法主要优点有:(1)对红外热像图像的混合噪声降噪方法可以适用于不同型号、不同采样方式的红外热像仪上,更好地过滤掉图像的椒盐和高斯噪声;(2)基于弗雷歇距离计算等温线特征向量和边缘特征向量的相似度检测电梯闸皮不均匀磨损的方法,对于检验闸皮是否存在不均匀磨损有着很好的区分度,具有很好的应用价值。

参考文献 (References):

- [1] GB 7588—2003. 电梯制造与安装安全规范[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [2] GB/T 10059—2009. 电梯试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [3] 潘树伟,彭仁东. 一起曳引驱动客梯制动器失效事故调查分析[J]. 中国特种设备安全,2016(9):64-67.
- [4] 李伟华,孙洪颖. 下肢康复机器人人机运动分析及仿真研究[J]. 机电工程技术,2016,45(8):24-27.
- [5] GB/T 31821—2015. 电梯主要部件报废技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [6] 马翠红,刘俊秘,杨友良,等. 基于红外热像的钢水测温模型研究[J]. 激光与红外,2016,46(4):439-443.
- [7] 时誉宁. 基于红外热成像技术的配电柜故障监测与诊断[D]. 淮南:安徽理工大学电气工程学院,2017.
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. Digital image processing using Matlab[J]. **Publishing House of Electronics Industry**,2009,21(84):197-199.
- [9] AVRAHAM R B, FILTSEER O, KAPLAN H, et al. The discrete and semicontinuous fréchet distance with shortcuts via approximate distance counting and selection [J]. **ACM Transactions on Algorithms**,2015,11(4):29.
- [10] 李相民,倪国强. 红外热像仪的噪声分析[J]. 红外与激光工程,2008(s2):178-181.
- [11] HARPELED S, RAICHEL B. The frechet distance revisited and extended[J]. **Acm Transactions on Algorithms**,2012,10(1):3.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

王逸铭,吴 尽,胡建中,等. 基于热图像分析的电梯闸皮不均匀磨损检验方法研究[J]. 机电工程,2018,35(11):1210-1213.

WANG Yi-ming, WU Jin, HU Jian-zhong, et al. Test method to elevator's brake shoe's uneven wear based on thermal image analysis[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018,35(11):1210-1213.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>