

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.012

水工钢结构腐蚀的图像识别技术

郭建斌,王楠,王泽民

(河海大学能源与电气学院,江苏 南京 210098)

摘要:通过图像识别技术对水工钢结构的腐蚀形貌特征及分布状况进行定量化研究,并通过室内实验对图像识别技术进行验证。结果表明 通过对腐蚀图像进行灰度处理、二值化处理可以实现对水工钢结构腐蚀形貌及腐蚀分布的准确性描述。

关键词:水工钢结构 腐蚀形貌 腐蚀分布 图像识别 最大熵阈值法 图像灰度

中图分类号:TV663+.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-1980(2012)05-0539-05

Image identification technology of corrosion in hydraulic steel structure

GUO Jianbin, WANG Nan, WANG Zemin

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract:The morphology and distribution of corrosion in a hydraulic steel structure were quantitatively studied using the image identification technology. Laboratory experiments were conducted to verify this technology. The results show that image gray processing and binary processing can accurately describe the morphology and distribution of corrosion in the hydraulic steel structure.

Key words:hydraulic steel structure; corrosion morphology;corrosion distribution; image identification;maximum entropy threshold method; image grayscale

我国水利水电工程中钢结构的保有量已超过 500 万 t,受运行环境影响,腐蚀病害是钢结构运行的重要因素。因此能定量地掌握钢结构腐蚀状况,成为确保工程安全、可靠运行的关键举措。

通常腐蚀的分布和形貌难以采用欧拉几何方法进行度量。自 20 世纪 20 年代英国率先采用数字压缩技术处理照片以来^[1],通过图像处理技术获取被摄物相关信息的方法受到工程技术人员越来越多的关注。1964 年美国的 JPL 实验室通过图像处理技术处理了太空船发回的月球照片,准确获取了月球表面地貌轮廓特性,为月球地貌的研究工作提供了重要信息,这标志着数字图像处理技术已经开始得到工程应用^[2];1981 年,Itzhak 等^[3]通过图像二值化处理技术获取不锈钢腐蚀图像呈现的孔蚀率特性;Codaro 等^[4]应用图像分析方法对铝合金和钛合金在不同腐蚀状况下的蚀坑大小、形状和形貌进行了概括性分类和评价,为采用图像识别技术描述蚀坑形貌特征提供了重要的路径;Quin 等^[5]应用图像分析方法对局部腐蚀形貌进行确定,获得了蚀孔的三维分布图,为腐蚀研究提供了重要参考。因此,应用图像处理技术对腐蚀形貌、分布进行描述,是定量腐蚀状况较好、客观的技术手段。笔者应用图像识别技术,研究水工钢结构的腐蚀形貌、分布特征,并通过试验方法对水工钢结构的在役腐蚀状况进行了定量化校验和识别,从而为工程管理部门科学、准确地掌握设备状况提供了方法和技术手段。

1 腐蚀的图像识别技术

1.1 图像的数字化处理方法

近年来图像分析处理技术得到了较快发展,特别是高分辨率的图像获取技术得到了长足的进步,应用图

收稿日期:2011-10-26

基金项目:水利部公益性行业科研专项(200701016) 中央高校基本科研业务费专项(2009B18714)

作者简介:郭建斌(1972—),男,江苏南京人,副教授,主要从事水工金属结构安全研究。E-mail:njcall@163.com

像分析实现图像形貌的描述成为解决工程问题的重要手段。由于计算机只能处理数字图像,因此图像的数字化成为图像分析的先决条件^[6-7]。

图像的最小单元为像素,且具有自相似的特点^[8-9]。图像的数字化是指对图像进行记录的过程中,在每个像素的位置,对图像的亮度进行采样和量化,从而存储图像对应点亮暗程度的定量化数值信息。每一个像素具有位置和灰度2个属性信息,位置信息由扫描线内采样点2个坐标决定,他们又称为行和列 灰度信息采用该像素位置上亮暗程度的数值矩阵表示。一幅 $M \times N$ 个像素的图像,在算法语言中可以用一个 $M \times N$ 的二维数组 F 表示,数字图像的各像素的灰度值可按一定的顺序存放在数组中。习惯上把数字图像左上角的像素定义为 $(1,1)$ 个像素,右下角的像素定义为第 (M,N) 个像素。这样从左上角开始,横向第 I 行,纵向第 J 列的第 (I,J) 个像素值就存贮到数组元素 $F(I,J)$ 中^[10],二维数组成为图像数字表现形式。通过该方法对所有的像素都完成上述数字化转化后,图像信息便被转化为计算机可以识别的数字矩阵对象^[11],如图1所示。

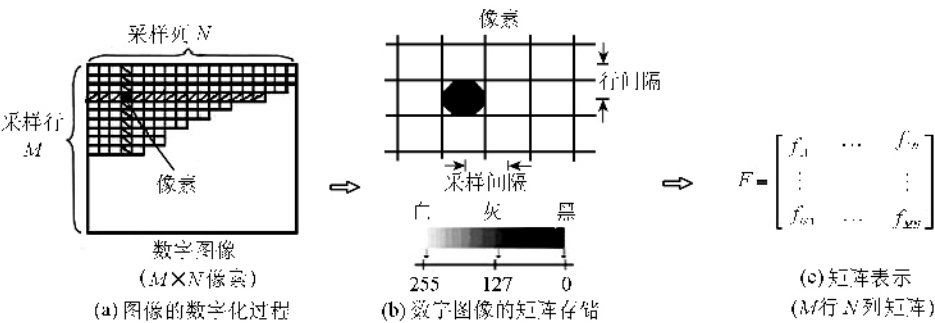


图1 图像数字化与矩阵存储示意图

Fig. 1 Schematic diagram of digital image and matrix storage

1.2 水工钢结构腐蚀特征

水工钢结构长期浸泡于各种水质(海水、淡水、工业酸碱废水等)的水体中,受水位变化或波浪起伏或飞溅形成的潮湿水雾、蒸汽等作用的影响,极易处于干湿交替、阴暗潮湿的工作环境中;另外,其还受到高速水流、泥沙、漂浮物等的冲刷作用,以及阳光照射、空气污染、水生物附着等^[12]多因素综合作用。因此,水工钢结构的运行环境十分恶劣,腐蚀现象很常见,是结构安全的重要影响因素。

水工钢结构腐蚀后表面呈现凹凸不平、锈皮泛起等复杂特征形貌,难以实现定量化描述,并且腐蚀形貌特征及其分布状况是结构承载抗力的重要影响因素^[13]。因此,加强腐蚀定量化描述相关方法的研究,对于准确把握工程安全性状具有十分重要的现实意义。

1.3 腐蚀图像的识别技术

近年来,图像处理技术获得了重大进展,成为工程技术人员掌握图像内含特征信息的重要客观技术手段。本文将通过图像识别技术研究,掌握腐蚀图像中记录的腐蚀形貌特征、分布状况等定量化信息,从而为工程安全可靠运行提供技术保障。

1.3.1 腐蚀形貌的图像识别

图像的灰度值包含了腐蚀状况的真实信息,其值大小表征了腐蚀形貌凹凸起伏的特征,灰度值统计参数(含分布、不均匀程度等)表征了腐蚀形貌的起伏变化特征。笔者采用图像灰度化处理技术,将图像处理成 $0 \sim 255$ 灰度值的灰度图,以获取腐蚀图像内含的全域腐蚀形貌灰度值以及统计参数等信息^[15]。

最大熵阈值法是获取腐蚀图像内含灰度值及统计参数等信息的较好方法^[16],主要是通过图像灰度值与熵的关联模型,寻找使图像前景熵与背景总和最大的灰度值,并以该灰度值作为图像识别的最佳阈值,其确定方法流程如图2所示。笔者通过统计不确定频数的

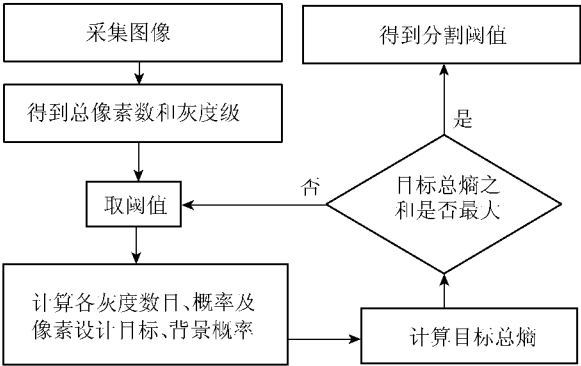


图2 最大熵阈值分割算法流程

Fig. 2 Flow chart of maximum entropy threshold segmentation

多寡,以最小可能原则确定腐蚀图像形貌灰度值及其统计参数的最大熵阈值,并按最大熵阈值对图像进行分割,从而获取腐蚀图像形貌呈现的真实灰度信息及其邻域的形貌状况,最终实现腐蚀形貌信息的定量化描述。

1.3.2 腐蚀分布信息的图像识别

腐蚀分布信息主要表现为腐蚀发生区域占统计区域的面积比。应用图像识别技术对腐蚀发生区域的面积比进行识别,关键在于对腐蚀图像的二值化处理。应用图像的黑白二值方法,描述受蚀和非受蚀发生区域等分布信息(非受蚀区域采用黑色描述,受蚀区域采用白色描述),并结合数值统计方法,最终掌握腐蚀分布呈现的定量化面积比信息,其确定方法流程如图 3 所示。

2 实验验证

笔者拟开展图像灰度值与腐蚀形貌相关性实验、图像面积比法的验证实验,以此验证图像识别技术对腐蚀性状进行定量化描述的适用性。

2.1 图像灰度值与腐蚀形貌相关性实验

为验证灰度值与腐蚀形貌的相关性,选用 5 件 50 mm×25 mm×4 mm 的 A3 钢腐蚀试片(编号 1~5 号)进行室内实验。实验前,试片先经过暴露表面打磨,用 200~800 目的粗、细砂纸逐级打磨、清洗、脱脂、干燥处理,然后放置干燥器内备用。

应用数码采集设备获取 1~5 号试片的形貌图,应用图像识别技术获取 1~5 号试片表面 40 个取样点的灰度值,并与专业游标卡尺获取的对应取样点实测坑深度进行比对,记录如表 1 所示。对表 1 数据进行最小二乘法拟合,绘制腐蚀图像取样点的灰度值与蚀坑深度相关性曲线如图 4 所示。

由图 4 可知,腐蚀图像取样点的灰度值与蚀坑深度之间的线性相关系数为 0.87,两者存在线性正相关性,表明可以采用图像识别技术获取腐蚀图像的灰度值,达到对腐蚀形貌性状进行定量化度量的目标。

表 1 图像灰度值与实测蚀坑深度结果

1 号试件		2 号试件		3 号试件		4 号试件		5 号试件	
蚀坑深度/ mm	灰度值	蚀坑深度/ mm	灰度值	蚀坑深度/ mm	灰度值	蚀坑深度/ mm	灰度值	蚀坑深度/ mm	灰度值
0.40	198	0.40	195	0.60	197	0.40	198	0.40	189
0.40	199	0.20	196	0.20	201	0.40	189	0.80	169
0.40	195	0.40	193	1.40	173	1.60	160	1.80	169
0.40	194	0.40	191	0.60	198	1.20	186	1.20	173
0.40	197	0.40	194	2.20	173	4.60	136	3.00	167
1.20	191	3.00	146	2.40	179	3.00	145	1.80	184
1.20	180	1.00	166	4.40	142	5.60	128	3.60	147
2.20	168	1.60	163	3.40	145	4.80	134	2.40	166

2.2 腐蚀面积比算法的验证实验

为了验证图像识别技术对腐蚀形貌面积比的识别准确率,选取对多边形、三角形、圆形、方形的黑白二值边缘轮廓进行验证,相关数据如表 2 所示。4 个轮廓的面积比分别为 15.6%,28.3%,31.5%,24.8%,如图 5 所示。

实验结果表明,图像识别技术对腐蚀形貌面积比的识别误差率在 5.0% 左右,其结果较为准确,并且对形状形貌无明显的偏好。因此,可以采用图像识别技术获取

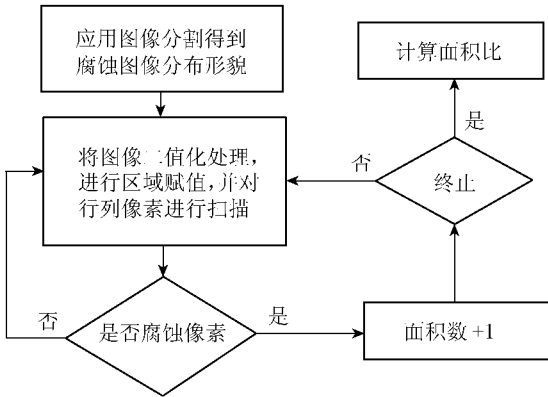


图 3 腐蚀分布计算流程

Fig. 3 Flow chart of corrosion distribution calculation

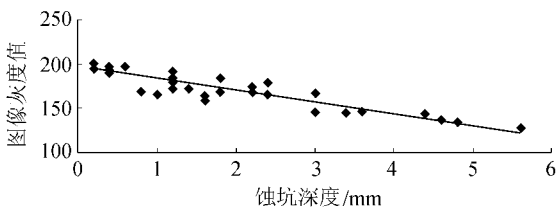


图 4 蚀坑深度与图像灰度相关性

Fig. 4 Correlation between corrosion pit depth and gray

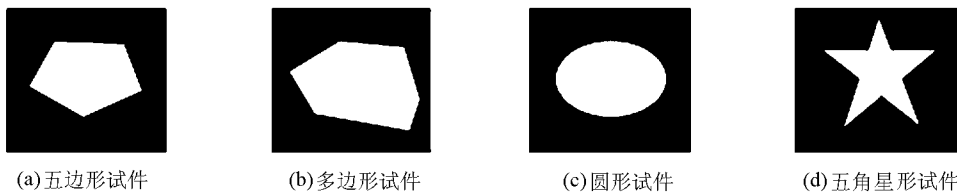


图5 实验测试形状示意图

Fig. 5 Schematic diagram of specimen shapes in experiments

腐蚀图像发生区域的面积比,以达到对腐蚀分布信息定量化度量的目标。

表2 图像识别面积比实验结果

Table 2 Experimental results of area ratio of image identification

边缘轮廓	实测			图像识别法		
	形状面积/mm ²	背景面积/mm ²	面积比/%	形状面积/像素	背景面积/像素	面积比/%
五边形	1 335 290.2	8 583 671	15.6	29 103	512 × 386	15.9
多边形	2 429 178.8	8 583 671	28.3	52 766	528 × 389	28.2
圆形	2 703 856.7	8 583 671	31.5	58 432	537 × 389	30.0
五角形	2 987 117.5	8 583 671	34.8	59 374	538 × 392	33.9

表3 某节制闸门主横梁腐蚀形貌识别与检测结果

Table 3 Contrast between corrosion morphology identification and detection of a gate main beam

测点灰度值	拟合期望值	实测值/mm	误差率/%
243	0.48	0.50	4.0
191	1.20	1.40	1.4
165	2.10	2.10	5.0
141	3.10	3.00	3.3

3 工程应用

选取南京某节制闸钢闸门的主横梁局部腐蚀照片,采用图像识别技术对其腐蚀形貌、腐蚀分布等信息进行定量化识别,并与工程检测结果进行对比,从而掌握定量化描述水工钢结构腐蚀的客观技术手段。

笔者对校验工程的腐蚀图像运用最大熵阈值法获取腐蚀形貌呈现的灰度值、统计参数,以及腐蚀分布呈现的定量化面积比等信息。各图像识别信息如表3、表4所示,腐蚀图像识别成果如图6所示。

由对照结果可知,图像识别获取的腐蚀形貌与实测值的误差率在1.4%~

表4 某节制闸门主横梁腐蚀分布识别与检测结果

Table 4 Contrast between corrosion distribution identification and detection of a gate main beam

图像识别背景面积/像素	图像识别形状面积/像素	计算面积比/%	实测面积比/%	误差率/%
646 × 452	210 818	72.2	71.4	1.1
775 × 535	282 359	68.1	69.2	1.4

5.0%,图像识别获取的腐蚀分布与实测值的误差率在1.1%~1.4%。因此,应用图像识别技术可以对腐蚀形貌与分布状况进行定量化描述。

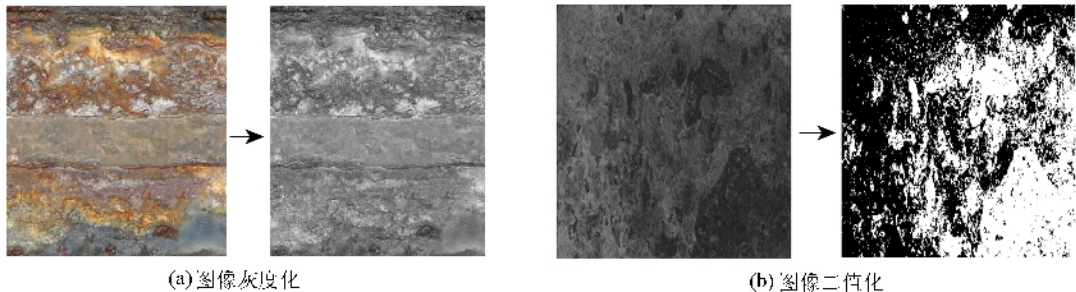


图6 某节制闸门主横梁腐蚀图像识别成果示意图

Fig. 6 Image identification of corrosion of a gate main beam

4 结 论

a. 采用图像识别技术,对腐蚀图像运用灰度处理及二值化处理的方法获取了腐蚀形貌及腐蚀分布的定量化描述,对于准确掌握水工钢结构在役安全状态具有指导意义。

b. 通过开展图像灰度值与腐蚀形貌相关性实验以及图像面积比法的验证实验,并将实验结果与图像识别结果进行比对,验证了图像识别技术对腐蚀性状进行定量化描述的适用性,图像识别技术可以为腐蚀形貌及分布状况等信息提供定量化描述。

c. 图像识别技术可以有效地定量化腐蚀现状,确保水工钢结构腐蚀安全的准确、客观评估。

参考文献:

- [1] 霍宏涛. 数字图像处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 1-187.
- [2] 周孝宽. 实用微机图像处理[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996: 2-8.
- [3] ITZHAK D, DINSTEI I, ZILBERBERG T. Pitting corrosion evaluation by computer image processing[J]. Corrosion Science, 1981, 21: 17-22.
- [4] CODARO E, NAKAZATO R, HOROVISTIZ A L, et al. An image processing method for morphology characterization and pitting corrosion evaluation[J]. Materials Science and Engineering, 2002, 334: 298-306.
- [5] QUIN M, BAILEY M. Image-analysis techniques for investigating localized corrosion processes[R]. Ontario: AECL, 1993.
- [6] 王耀南, 李树淘. 计算机图像处理与识别技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 1-10.
- [7] 王新成. 高级数字图像处理技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000: 1-20.
- [8] 屈朝霞, 张汉谦. 材料科学中的分形理论应用进展[J]. 宇航材料工艺, 1999, 29(5): 5-9. (QU Zhaoxia, ZHANG Hanqian. Materials science of fractal theory applied progress[J]. Aerospace Materials & Technology, 1999, 29(5): 5-9. (in Chinese))
- [9] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1990: 175-177.
- [10] AOYAMA M, SHIBATA Y. Evaluation of corrosion on cast iron surfaces by fractal dimension analysis[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2001, 1: 403-408.
- [11] 宋诗哲, 王守琰, 高志明, 等. 图像识别技术研究有色金属大气腐蚀早期行为[J]. 金属学报, 2002, 38(8): 893-896. (SONG Shizhe, WANG Shouyan, GAO Zhiming, et al. Image recognition technology research non-ferrous metal early atmospheric corrosion behavior[J]. Metallurgica Sinica, 2002, 38(8): 893-896. (in Chinese))
- [12] DL/T 835—2003 水电站水工金属结构安全检测技术规程[s].
- [13] 郭建斌, 郑圣义. 钢闸门腐蚀安全研究[J]. 腐蚀与防护技术, 2006(1): 73-76. (GUO Jianbin, ZHENG Shengyi. Research on corrosion of hydraulic steel gates[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2006(1): 73-76. (in Chinese))
- [14] BLUNI S T, GOGGINGS K M, SMITH B J, et al. The use of quantitative image analysis for the characterization of corrosion-resistant coatings[C]//ASTM committee E4 on metallography: special technical publication. Houston: The Society, 1993: 254-265.
- [15] 翁永基, 李相怡. 分维方法对碳钢土壤腐蚀行为的表征[J]. 石油化工高等学校学报, 2005(2): 56-61. (WENG Yongji, LI Xiangyi. Fractal method of carbon steel corrosion behavior of soil characterization [J]. Journal of Petrochemical University, 2005(2): 56-61. (in Chinese))
- [16] 王守琰, 宋诗哲. 金属材料海洋环境腐蚀数据咨询管理及预测诊断系统[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(2): 108-111. (WANG Shouyan, SONG Shizhe. Consultation and forecast diagnosis system of metal in marine environment[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2004, 24(2): 108-111. (in Chinese))