

电沉积效果评价中图像处理方法的应用探讨

储洪强¹ 蒋林华¹ 杨 彪²

(1.河海大学材料科学与工程系,江苏 南京 210098;2.河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:在电沉积方法修复混凝土裂缝中,利用 Photoshop,自定义阈值二值化实现图像分割的方法以及最大类间方差阈值分割法 3 种图像处理方法计算电沉积效果的评价指标——试件表面覆盖率,从分割后的图像与用于计算试件表面覆盖率的图像比较来看,3 种方法的计算结果是可信的,但是前两种带有很强主观性,最后 1 种计算稳定可靠,自动化程度较高,计算速度也较快。

关键词:电沉积效果;试件表面覆盖率;图像处理;Photoshop;二值化;图像分割

中图分类号: TU528.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2005)05-0567-04

电沉积方法是修复混凝土裂缝的一项新技术,特别适用于用传统修复技术难以奏效或修复价格太高的混凝土结构,日本、美国的专家曾对此进行了探索性试验研究^[1~3],而国内对该项技术的研究则刚刚起步。研究表明^[4,5],辅助电极、电极距离、混凝土参数(水灰比、保护层厚度、裂缝宽度)以及其他一些尚未研究的因素(如电流密度等)均对电沉积效果有影响,而电沉积效果又影响裂缝的修复效果,如试件表面覆盖率及裂缝愈合率对经过电沉积处理后带裂缝混凝土抗侵蚀性能的提高有影响^[1,2],所以如何准确评价电沉积效果非常重要。对于电沉积效果的评价指标——试件表面覆盖率的测定,由于沉积物分布极不均匀,有些方法会带来较大的误差,因此本文探讨了图像处理方法在测定试件表面覆盖率中的应用。

1 试验准备

试验采用水泥砂浆试件,尺寸 40 mm×40 mm×160 mm,水泥为 32.5 级普通硅酸盐水泥,水灰比 0.60,胶砂比 1:2.5,钢筋 $\varnothing$ 6 mm,预先埋置于砂浆试件中,保护层厚度 15 mm。试件在标准条件下养护 28 d 后,在 NYL-600 型压力试验机下施加横向劈裂荷载,在其纵向中部位置附近产生贯穿裂缝,缝宽 0.3 mm±0.05 mm。为保证沉积物只在裂缝所在面生成,其余面上均涂上硅橡胶。采用 MgCl₂ 电沉积溶液,浓度 0.05 mol/L,试件表面电流密度 1 A/m²,辅助电极为片状钛网板,电极距离 40 mm。每 5 d 更换 1 次溶液,20 d 后试件表面及裂缝的沉积情况如图 1 所示。



图 1 试件表面及裂缝的沉积情况

Fig.1 Electrodeposits on mortar surface and cracked part

试件表面覆盖率即试件表面被沉积物覆盖的面积占表面总面积的百分率,在计算试件表面被沉积物覆盖的面积以及表面总面积时应扣除表面与支座接触的部分。

2 测定试件表面覆盖率的图像处理过程

由于计算试件表面被沉积物覆盖的面积及表面总面积时应扣除试件表面与支座接触的部分,且采用几种图像分割方案,并对这些方案进行比较和评价,因此必须保证每种方案具有统一的评价基础——相同的试件表面图像,这就需要在试件表面原始数码图像(图 1)上做好两个标志点,如图 2 所示。两标志点内图像即为扣除试件表面与支座接触部分的试件表面图像。利用图像处理工具对原始图像进行剪裁,将这两个标志点定义的矩形区域图像作为新的图像(图 3),用于计算试件表面覆盖率。

2.1 图像预处理

为了提高图像分割的精度和可靠度,对图像进行增强处理(如适当调整对比度),拉大沉积物图像与砂浆试件图像的反差.用于计算试件表面覆盖率的图像经预处理后如图 4 所示.

2.2 图像分割

目标区域是一幅数字图像中最值得关注的,一般对应图像中特定的、具有独特性质的区域.为了辨别和分析目标,需要将这些区域从背景区域中分离出来.图像分割就是把图像分成各具特性的区域并提取出目标区域的技术和过程.计算试件表面覆盖率应将图像中的沉积物与砂浆试件背景分离,图像分割采用以下方法实现.



图 2 标志点示意图

Fig.2 Details of sign points



图 3 用于计算试件表面覆盖率的图像

Fig.3 Image for calculation of surface coverage



图 4 预处理后图像

Fig.4 Image after pretreatment

2.2.1 利用 Photoshop 实现图像分割

主要操作步骤如下.

- a. 运行 Photoshop, 打开经过预处理剪裁好的试件表面的数码图像.
- b. 采用魔术棒工具, 选取图像上部分沉积物, 反复通过“扩大选取”、“选取相似”工具, 选取图像上所有沉积物. 或者通过 Photoshop 的选择菜单, 设置要选择沉积物图像的色彩范围, 反复调节色彩范围, 来选定图像上的沉积物.
- c. 复制选中的沉积物.
- d. 新建一个同样大小的带背景色的图像, 要求背景色与沉积物图像具有较大的反差.
- e. 在新建的图像上粘贴选中的沉积物.
- f. 保存新生成的图像(建议保存为 BMP 格式).

由于“扩大选取”、“选取相似”尺度不易把握,且色彩范围无法准确定位,分割后的图像会随“扩大选取”、“选取相似”尺度或色彩范围的不同而不同,所以当背景色设置为黑色时,需按照上述步骤反复进行,使分割后的图像与用于计算试件表面覆盖率的图像尽量接近.最终结果见图 5.



图 5 利用 Photoshop 分割后图像

Fig.5 Segmented image by Photoshop method

2.2.2 利用二值化方法实现图像分割

在数字图像处理领域,二值化是从背景像点中分离出物体像点,实现图像分割的基本手段.图像二值化处理是利用图像中要提取的目标和背景在灰度特性上的差异,选择一个合适的阈值,以确定图像中每个像素点是属于目标或者背景,将多灰度级图像按照一定方法转换成只具有两个灰度值的二值图像(一般为黑白图像)的过程.由此可见,要从复杂背景中分辨出目标并将其形状完整地提取出来,阈值的选择是一个关键.阈值的选取有两种方法,一种是自定义阈值法,另一种是根据图像自动确定阈值.

2.2.2.1 自定义阈值选择法

在 MATLAB 软件中,可通过一下命令快速地实现图像的二值化:

```
>>i = imread( ' 图像文件路径 ' )  
>>im2bw( i 阈值参数 )
```

阈值参数是人为设定的 0~1 之间的数值,二值化后图像随阈值参数的不同而不同,所以需反复选取阈值参数,使分割后的图像与用于计算试件表面覆盖率的图像尽量接近.最终结果见图 6.



图 6 利用 MATLAB 二值化后图像(阈值参数设置为 0.65)

Fig.6 Segmented image by MATLAB method (threshold value parameter 0.65)

2.2.2.2 自动阈值选择法

二值化阈值的自动确定方法很多,其中最大类间方差法^[6]是一种面向均匀性的算法,是在最小二乘法原理的基础上推导出来的,依据均匀性度量得到最佳性能,是实际应用中图像分割常用的方法。本文采用最大类间方差法。最大类间方差法的基本思路是将直方图的某一阈值分割成两组,当被分成的两组方差最大时,决定阈值^[7]。

设一幅图像的灰度值在 m_1 至 m_2 ($-1 < m_1 < m_2 < 256$, m_1, m_2 为整数) 之间,则这幅图像具有 $(m_2 - m_1 + 1)$ 个灰级。图像像素总数为 $N = \text{图片长} \times \text{图片宽}$,灰度值为 k ($m_1 - 1 < i < m_2 + 1$) 的像素个数为 $H(i)$ 。

用 k ($m_1 - 1 < k < m_2 + 1$, k 为整数) 将图像像素分成两组: $A = \{m_1 \sim k\}$ 表示灰度值在 $m_1 \sim k$ 之间的像素群; $B = \{k + 1 \sim m_2\}$ 表示灰度值在 $k + 1 \sim m_2$ 之间的像素群,则各组中的像素个数与图像总像素个数的比值分别为

$$P_A = \frac{\sum_{i=m_1}^k H(i)}{N} \qquad P_B = \frac{\sum_{i=k+1}^{m_2} H(i)}{N} = 1 - P_A \qquad (1)$$

两组像素的数学期望值(均值)分别为

$$E_A = \frac{\sum_{i=m_1}^k H(i) i}{\sum_{i=m_1}^k H(i)} \qquad E_B = \frac{\sum_{i=k+1}^{m_2} H(i) i}{\sum_{i=k+1}^{m_2} H(i)} \qquad (2)$$

两组间的方差值为

$$\sigma^2(k) = P_A P_B (E_A - E_B)^2 \qquad (3)$$

从 m_1 至 m_2 之间变换 k 值,分别计算以上方差值,取使得方差值最大时的 k 值作为图像二值化分割阈值 T 。

阈值确定以后,便可对图像进行二值化处理。判断图像上每个像素的灰度值,灰度值不小于阈值 T 的像素被赋予白色,灰度值小于阈值 T 的被赋为黑色,形成一幅二值化新图像。图 7 是采用最大类间方差法确定阈值($T = 168$) 并进行二值化处理后的图像。



图 7 最大类间方差法二值化后图像(阈值 168)

2.3 噪声消除

由于试件表面的光亮物质如砂粒等的反射,导致其图像灰度与沉积物的图像灰度极其相似,即图像分割后生成的新图像可能还存在部分噪声(即妨碍人们感觉器官对所接收的信源信息理解的因素)。为提高试件表面覆盖率计算的准确度,可采用空间滤波的平滑算法来减小和消除这些噪声。整个过程如图 8 所示。

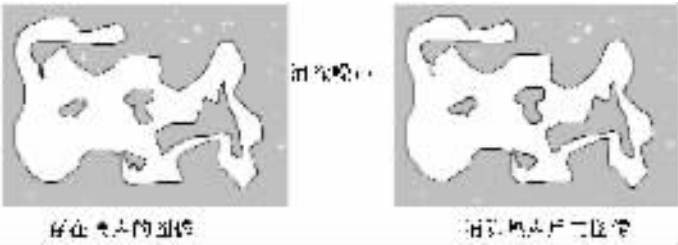


图 8 分割后图像噪声消除示意图
Fig.8 Noise elimination of segmented image

3 试件表面覆盖率的计算

利用 Photoshop 进行分割时,设置背景色(灰度值 i) 统计分割后图像中灰度为背景色(即灰度值为 i) 的像素个数 $H(i)$,得出其分布概率为

$$F(i) = \frac{H(i)}{N} \qquad N = \text{图片长} \times \text{图片宽} \qquad (4)$$

式中, N 为图像像素总数, 像素. 则沉积物表面覆盖率为 $1 - F(i)$. 对于图 5, 选取黑色为背景色, 即 $i = 0$, 统计分割后图像中的像素灰度为黑色的像素总数 $H(0) = 271\,172$, $N = 1\,590 \times 467 = 742\,530$, $F(0) = 36.52\%$, 则试件表面覆盖率 $1 - F(0) = 63.48\%$.

对于二值化分割后的黑白图像(黑色为背景色, 灰度值为 0), 试件表面覆盖率按下式计算:

$$\text{试件表面覆盖率} = \frac{\text{影像上灰度值为 255 (白色) 的像素总数}}{\text{影像像素总数}} \times 100\%$$

对于图 7, 统计分割后图像中像素灰度为白色的像素总数 $H(255) = 479\,452$, $N = 1\,590 \times 467 = 742\,530$, 则试件表面覆盖率为 64.57% . 同理可得图 6 中试件表面覆盖率为 65.30% .

4 结 语

采用以上方法实现分割后的图像与用于试件表面覆盖率计算的图像(图 4)比较接近, 所以算出的试件表面覆盖率是可信的, 误差较小, 其结果也证明如此(3 个结果中, 最大值或最小值与中间值的差值不超过中间值的 2%).

利用 Photoshop 实现图像分割, 操作繁复, 自动化程度不高; 扩大选取、“选取相似”尺度不易把握, 色彩范围无法准确定位, 带有很强的主观性, 以致分割的精度很难准确控制. 自定义阈值的二值化图像分割法, 如 MATLAB 软件中, 其二值化阈值参数是人为设定的 $0 \sim 1$ 之间的数值, 很难找到理想的阈值, 也带有很强的主观性, 从而影响图像分割的准确性. 而对于最大类间方差阈值分割法, 由于根据图像自动确定阈值, 是一种面向均匀性的算法, 依据均匀性度量得到最佳性能, 所以计算稳定可靠, 且其自动化程度较高, 计算速度较快.

参考文献:

- [1] OTSUKI N, HISADA M, RYU J S, et al. Rehabilitation of concrete cracks by electrodeposition[J]. Concrete International, 1999, 21(3): 58—63.
- [2] OTSUKI N, RYU J S. Use of electrodeposition for repair of concrete with shrinkage cracks[J]. Materials in Civil Engineering, 2001, 13(2): 136—142.
- [3] RYU J S, OTSUKI N. Crack closure of reinforced concrete by electrodeposition technique[J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(1): 159—164.
- [4] 储洪强, 蒋林华. 辅助电极及电极距离对沉积效果的影响[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(4): 361—366.
- [5] 蒋林华, 储洪强. 混凝土参数对沉积效果的影响[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 23—25.
- [6] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans, 1979, SMC-9: 62—69.
- [7] 张旭丽. 两种基于空间域聚类分析的颜色图像分割方法比较[J]. 贵州工业大学学报, 2001, 30(2): 76—79.

Application of image processing method to evaluation of electrodeposition effect

CHU Hong-qiang¹, JIANG Lin-hua¹, YANG Biao²

(1. Department of Materials Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract As to the electrodeposition method for repair of concrete cracks, three image processing methods, including the Photoshop method, self-definition threshold method for binarization image segmentation, and Ostu method with maximal variance between two classes, were adopted to calculate the surface coverage for samples—an evaluation index for electroposition effect. The comparison of the segmented images with those for calculation of the surface coverage shows that the calculated results of the three methods are reasonable, and that the former two methods are of high subjectivity, while the last one is more reliable, automatic, and fast.

Key words :electrodeposition effect; surface coverage of sample; image processing; Photoshop; binarization; image segmentation