

# 水工混凝土表面缺陷检测的图像处理算法研究

蒋亚永

海南中南标质量科学研究院 海南 海口 570100

**摘要：**近几年，随着水利水电工程建设理念的转变，其建设流程也在不断规范与完善，并且对水工项目中的混凝土外表质量也提出了更高的要求。对此，许多项目对水工混凝土质量的评价，都将其列入了评价体系中。当前，我国对混凝土外观质量的评定，仍以人工方式为主，迫切需要探索一种便捷、可靠的新型评定方法。本项目分析了水工混凝土表面的常见缺陷，利用图像处理算法，对水工混凝土表面缺陷，进行综合性检测，希望能够进一步促进我国水工事业的快速发展。

**关键词：**水工混凝土；表面缺陷检测；图像处理算法

**前言：**水利水电工程建设的质量，与混凝土强度等存在密切关系，其质量会受到水质、环境等因素的影响。在此背景下，为了有效地控制和减少水泥的水化热，采取了采用中、低热水泥浆品种、外加剂、外加剂等方法；为了满足大体积水泥砂浆对温度的特定需求，在施工过程中使用了一种新型的集料预冷却配冰拌制的低温混凝土。但在具体施工中，混凝土的表面还是存在缺陷问题，这会降低水工工程的质量的，出现各种质量问题。对此，要了解水工混凝土表面出现缺陷的常见因素，做好检测工作，为后续我国水利水电工程建设的快速发展提供参考。

## 一、研究现状

由于受到环境与人文等多种因素的共同作用，导致水工混凝土在应用中，其出现劣化，出现表层锈蚀等病害，增加裂纹的发生率，影响水工混凝土表面的质量。对此，对混凝土表面缺陷的识别与检测，已成为当前水工工程中十分重要的一环。目前，基于计算机视觉的混凝土质量检测方法，主要依靠手工进行，存在着严重依赖于操作者、工作效率低下、测量结果高度主观性等问题。为此，亟须发展可靠高效的水工结构病害识别技术，为水工建筑物病害的可视化监测提供技术支撑<sup>[1]</sup>。图像处理算法与信息技术的有效结合，可以实现自动识别，能够克服人工目视检验的不足，受到了广泛的重视，并发展了多种机器视觉方法。目前对于机器视觉的研究，主要有两大类：人工识别与基于深度学习。现有的基于边缘检测、阈值分割和小波分析等技术存在着各图像特性差异较大、目标类型差异较大等问题，人工构造的特征难以适应多变的环境。

通过对图像处理算法的分析，发现此方式在应用中，可以对检测图像进行分割，按预定的大小以线扫描，对多个同样尺寸的小图像区块进行检测。分割后的影像的大小可以随着影像，适当调节。随着分割后图像规模变得越来越小，所分割的图像也越来越多，计算速度也随之增加。如果分割范围过大，则会降低对缺

陷定位的准确性。若放大后的影像尺寸较大，则影像分割的大小也可适当增大。正常情况下，每一幅图像的局部特征矢量之间的欧氏距离都非常相近<sup>[2]</sup>。按此法则，每个分割后的图像区块都能被识别，并判定有无瑕疵，准确性高。所以说此处理方式，已成为水工混凝土表面缺陷检测中的主要算法。

## 二、分析水工混凝土表面缺陷的因素

1、麻面：模板的表面不平整或没有清除掉杂质，拆除模具时，砼的表层出现了胶化现象；木模湿度不足，水泥砂浆中的水分被抽走，造成了大量的水分流失，从而形成蜂窝状；模板拼接不严密，出现了部分渗漏现象；模板隔离剂刷的不均匀、部分漏刷、隔离剂劣化、拆除模具时，与模板结合在一起形成蜂窝状；水泥搅拌不紧密，没有及时排除泡沫；拆除模具过早，水泥砂浆附着在模板上，形成蜂窝状。

2、暴露缺陷：在浇注混凝土时，护层垫块移位，或遗漏，导致钢筋下沉或外露，接近模板表面；房屋内的钢筋密集，石头夹住了钢筋，产生了露筋现象；由于砼离析，靠近模板的地方出现了漏浆等问题。

3、蜂窝：主要原因是：水泥混合比例不合理，或砂石、水泥等原料计量不准，用水不准，导致水泥浆不足，而石多；砼振捣不好；投料不合理，导致碎石和砂浆分离；因振动过大，出现气泡；模板间隙没有封闭，导致浆液渗漏和气泡等现象。

4、缺角：主要包括：模具拆卸时，边缘受到外界或重物的冲击，或者防护不当，使边缘脱落；在冬季温度较低的情况下，将一侧的无承载力的模板提前拆下，或者是在浇筑过程中，由于砼的角部受到了冻害，从而导致了脱模时的角部脱落。

5、错台的原因是：上部模板和下部墙之间存在裂缝，造成漏浆产生错台；下部墙顶托不稳，致使边模出现外鼓，产生错台；上部模板和下部砼构件交接处的加强不够紧，容易发生开裂、出现“错台”现象。

### 三、图像处理算法在水工混凝土表面缺陷检测中的应用

#### (一) 图像增强技术

图像的灰度直方图,主要是指图像中各个灰度等级的像素在图像中所占的比例。研究表明<sup>[3]</sup>,缺陷成像的质量受采集时间、背景色等因素的制约,难以从缺陷中分辨出背景等信息,这增加了影像的解析难度。然而,在灰度直方图上,各像素点均位于低灰度区和高灰度区。直方图均衡是一种常见的校正方式,其基本思想就是把过于聚焦在某个灰度区域的原图,转化成在一个更大的灰度区域上,进行平均分布,增大各个区域之间的灰度差异,提高整个图像的反差,实现对图像的更精细、更好地进行后续的处理。经平衡处理后,因亮度不均匀而导致的影像亮度不均匀,这将增加后续影像的处理难度。在此基础上,提出一种基于像素点附近一定尺寸子图像的直方图来实现增强效果的方法。

利用适当的转换系数,把原来的图像灰度变化区域,扩展到一个特定的区域,从而克服了图像中对比度不够和细节模糊的缺点,实现了裂纹图像的增强。相关学者,在水工混凝土表面缺陷检测中,应用分片线性转换的方式,将影像分割为若干片段,然后将分割后的影像进行直线转换,其优势在于其优于非片段化的灰阶转换。但是此技术也存在一定的不足之处,为了获得更好的结果,必须持续地调整相关的参数。对此,要注意图像消噪处理算法的应用,该算法不但具有较好的降噪性能,还具有较高的计算效率。该算法依据的是:基于图像中每个像素与周边像素之间存在相关性,而与其邻近像素之间没有关联,并且相互独立的特点,将像素与邻域像素的灰度值平均,得到像素的灰度值平均值。采用平均法对混凝土表面缺陷图像进行了平滑,去除了明显的噪音,确保图像以及检测数据获取的准确性。

#### (二) 图像分割

图像的分割一般有三种方法:区域法,边缘法与边界法。采用分区法将每个像素划分到相应目标所在的区域;采用边缘法,仅需对两个区域进行边缘划分,该算法首先识别出所有的边点,然后将这些点串起来作为其归属的边界;在此基础上,提出了一种新的分割方法——阈值法。针对不同的门限划分,提出了多种不同的门限值划分方法。按照门限划分方法的适用场合,可分为整体门限法和局域门限法两种方法。该方法对整个图像采用相同的门限,特别适合于对缺陷中裂缝的检测。例如,某水工工程,在对混凝土表面缺陷进行检测时,借助了小波变换方法,与图像处理中的门限划分方法结合,当灰度值是平均时,其灰度直方图就会呈现出一个双峰的形状。

边缘提取是一种非常基础的方法,传统的方法主要有 Sobel 算子, Prewitt 算子, Roberts 算子等。其中, Sobel、Prewitt 等算法具有计算简便、运算快速等优点,但仅适用于横向和纵向的模板,无法实现对非规则混凝土表面缺陷真实边界方位的有效识别。

利用拉普拉斯与马尔科夫算子对原图进行光滑化,但在光滑化后,该算法不能准确地确定边界,从而得到大量的边界点。Canny 算子是在 1986 年所发展起来的一种新的边界提取方法,但是该方法对噪音比较敏感,易出现虚假的边界或者缺失某些真正的边界<sup>[4]</sup>。利用经典的微分算子 (Canny Laplacian、Sobel、Roberts、判别式等),对 2 D 梯度进行数值计算,并选取合适的阈值进行边界检测。实验表明,该算法对无噪声的大桥图像进行边界提取,取得了良好的效果。

然而,在获取的麻面影像中,由于光照不均匀、阴影以及混凝土表面纹理等多种因素的干扰,使得这些测量结果具有明显的“噪声提升”缺陷。形态学算子, Sobel, Prewitt 等多种边界检测器的研究大多局限于时空尺度。小波分析是一种基于傅里叶变换的时间—频率分析的一种高效的时频分析手段,已在图像的边界提取方面获得了丰富的研究结果。部分学者,在混凝土表面缺陷相关类型的检测中,选择“sym4”为小波基函数<sup>[5]</sup>,对其进行三级小波分解,通过与迭代门限法及最大阈值法等小波方法的比较,得出了其更适合于混凝土麻面的检测结果,而迭代门限划分及最优切分方法虽可大致实现缺陷对象的划分,却未能将大量具有相似灰度的干扰点及干扰区从其中有效地分离出来。

#### (三) 图像分割技术

图形化的基础操作为侵蚀与膨胀运算,侵蚀操作将去除目标最外层的边界,而膨胀操作则将目标扩展至邻近区域的最近点。通过对图像进行边界提取、门限划分,消除了图像中的毛刺和噪点;经膨胀后,可以将已破裂的断块拼接起来。这两种方法结合在一起,既可以形成开放操作,也可以形成封闭操作。在成像过程中,打开操作的影响是将较窄的连通区域分离出来,去除细小的凸起和毛刺。封闭操作能填补原始图像中的微小孔洞,并将相邻物体相连,使得边缘平滑。在此基础上,利用形状梯度算子提取出的几何形状梯度,实现了基于形状梯度的混凝土表面缺陷识别。对已发现的缺陷问题,利用封闭算子进行填补,通过封闭操作,确定出现缺陷的位置与形态。

相关学者结合当前我国水工混凝土表面缺陷,在具体的检测中,应用了一种新的多角度结构基元形态学方法,利用最大类内最大距离,搜索出具有梯度突变特征的像素点,并利用多个结构基元侵蚀方法,判定其是否为脉动噪音或麻面等问题,如果存在边界就保留,如果没有,就滤掉。一些学者,还利用数字图像处理的方法,在渗流模式的基础上,对混凝土表面缺陷情况进行了检测。其基本思想是对流体在介质中浸润扩散的数学模式进行抽象应用,也就是流体能够渗透到裂纹部位。实验证明<sup>[6]</sup>,该方法能较好地解决混凝土表面检测中的实际问题。在随后的研究中,相关学者完善了渗流模式,其中包含了渗流速率和辨识准确性,主要以裂隙形态为基础,结合混凝土表面的裂隙形态特性,获得

只含有裂隙信息的二维影像，也就是裂隙图，为后续混凝土表面缺陷的处理与预防提供参考。

#### 四、展望

针对目前图像处理与混凝土表面缺陷检测中的问题，可以应用图像尺寸调整、图像分割和灰度化等方法，利用灰度共现矩阵法，对其进行图像的构造特性分析，并采用欧氏距离方法对图像进行识别。为了便于后面向图像分割，在进行相关的图像处理之前，先调节图像的尺寸。在分割图像时，要注意对图像块数的选择。现有结果表明，图像像素较低时，对故障定位的精度较高，且对故障区域的计算精度较低，但其工作效率较低；随着图像大小的增加，图像处理的速度加快，但是由于图像会受到混凝土表面缺陷类型，或者是操作行为的影响，会使得图像质量降低。所以，在分割之前，必须考虑到分割之前的图像情况，如大小、形态等，提高鉴别结果的准确性，选取适当的分割图像。在实际应用中，通常仅需估算出缺陷的具体部位和尺寸，而对检测结果的准确性并不高。

近年来，以影像处理为基础的混凝土表面缺陷检测方法，已取得了进步，其方法包括结合无人机、智能化和与物联网相结合，实现在线监测等，实现对不同缺陷的识别。对此，未来混凝土表面缺陷的检验中，要想达到对缺陷图像实时、在线处理，以及在确保图像质量的前提下，防止裂纹图像畸变，需要采取先进的信息化技术，与图像处理方法有效结合，协调二值分割中的准确性与速率之间的冲突等问题。对现有的缺陷辨识技术进行完善，以克服诸如水迹、刮痕等噪声干扰，达到0.2 mm以下的混凝土缺

陷的有效辨识与检测。

#### 结束语：

总而言之，随着水利水电事业的快速发展，人们对其外观美感的需求也在逐步提升，只能通过对其成因进行深入地剖析和研究，才能够实现有效检测。图像处理技术，是一种以机械视觉为基础的复杂度识别方法，其高效性直接关系到缺陷识别的准确性、有效性。以数字影像为基础的缺陷识别方法，以其高效、精确和智能化等为优点，在实际的水工混凝土表面缺陷检测中，得到了广泛的推广。通过对图像增强，图像识别，图像分割以及相应的计算方法等，确保了图像数据获取的准确性，保证了混凝土结构的质量，在后续水工事业发展中有推广价值。

#### 参考文献：

- [1] 朱然.水工混凝土结构检测方法对比分析[J].水利技术监督,2023,9(11):31-33.
- [2] 樊旗.基于图像处理算法增强数字视频信号的方法[J].电视技术,2023,47(7):214-217.
- [3] 曹国金,苏超,王文君.基于深度学习的水工混凝土结构表面缺陷检测[J].水电能源科学,2023,41(6):137-141.
- [4] 范小东,付磊,徐超,曹敏.冲击回波法在水工混凝土质量检测中的应用研究[J].浙江水利科技,2023,51(3):83-90.
- [5] 曹国金,苏超,王文君.基于深度学习的灌区水工混凝土结构表面裂缝自动检测方法[J].吉林水利,2022,14(12):14-17.
- [6] 常胜.雷达法在某输水工程水工混凝土质量检测中的应用[J].水利技术监督,2022,11(5):20-23.