

T/HNCAA

河南省认证认可协会团体标准

T/HNCAA 034—2022

数字图像法检测混凝土裂缝技术标准

Technical standard for crack detection of concrete by digital image method

2022 - 04 - 20 发布

2022 - 06 - 01 实施

河南省认证认可协会 发布

前 言

根据河南省认证认可协会发布的《关于下达2021年团体标准制订计划的通知》（豫认协[2021]05号文），本标准项目编号：2021009。标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，在参考国内外成熟科研成果的基础上，并进行广泛的征求意见，制定本标准。

本标准主要内容是：总则、术语和符号、基本规定、图像采集、图像处理和分析、检测结果、裂缝检测报告。

本标准由河南省认证认可协会归口管理，由河南豫美建设工程检测有限公司负责具体内容的解释。本标准推荐给检测单位、设计单位、建设单位、施工单位、维护和管理单位、研究单位的相关人员采用。本标准在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：郑州市郑东新区商都路与杨桥东路交汇处北100米，邮编451464）。

本标准为首次发布。

主 编 单 位：河南豫美建设工程检测有限公司

参 编 单 位：西北农林科技大学

澳门大学

信阳建科工程检测有限公司

河南宝来检测技术有限公司

河南省豫华建设工程检测有限公司

河南益高建筑工程检测有限公司

山西志翔检测有限公司

河南亿达工程检测有限公司

主要起草人员：孙亚南 李 黎 黄国平 弓 鑫
 张 阳 王钰翔 侯玉辉 张振钢
 李广科 委玉杰 孙海鑫 陶佳诚
 李佳伟 张 潮 张安静 胡慧娜
 贾 瑶 付向斌 杜小兵 原玉刚
 徐晨曦 王 魁 张晓飞 田启超
 曹文龙 张骏青 李 宾 侯海宝
 郭婷婷 赵 帆 李锦河 苑洪华
 孟俊丽 魏丽诗 孙艳敏 耿 杨

主要审查人员：李美利 朱海群 钱 伟 蒋玲玲 张浩亮

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 1 总则 | 1 |
| 2 术语和符号 | 2 |
| 2.1 术语 | 2 |
| 2.2 符号 | 3 |
| 3 基本规定 | 4 |
| 3.1 一般规定 | 4 |
| 3.2 数字图像检测技术流程 | 4 |
| 3.3 设备和软件 | 5 |
| 4 图像采集 | 6 |
| 5 图像处理和分析 | 7 |
| 5.1 图像处理 | 7 |
| 5.2 裂缝提取 | 7 |
| 5.3 输出数据 | 7 |
| 5.4 数据换算 | 7 |
| 6 检测结果 | 8 |
| 6.1 检测结果要求 | 8 |
| 6.2 裂缝检测结果的评价 | 8 |
| 7 裂缝检测报告 | 9 |
| 附 录 A 图像数据处理和分析裂缝参数流程 | 10 |
| 附 录 B 《混凝土结构设计规范》的要求 | 11 |
| 附 录 C 《水工混凝土结构设计规范》的要求 | 13 |
| 附 录 D 《城市桥梁养护技术规范》的要求 | 14 |
| 附 录 E 隧道衬砌裂缝病害分级标准 | 15 |
| 附 录 F 桥梁混凝土裂缝分级标准 | 16 |
| 附 录 G 裂缝检测原始记录 | 17 |
| 参 考 文 献 | 18 |

1 总则

- 1.0.1 为规范工程结构中数字图像法检测混凝土裂缝技术的应用,保证裂缝检测高效便捷、分析准确、安全可靠、经济合理,制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于房屋建筑、桥梁、市政、公路、隧道、水利等既有和在建工程中的混凝土裂缝检测。
- 1.0.3 有特殊用途或在特殊环境中使用的工程结构的混凝土裂缝检测可参照本标准执行。
- 1.0.4 数字图像法检测混凝土裂缝技术除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

- 2.1.1 裂缝 crack
由荷载、温度、灾害等因素引起的结构表面狭长缝。
- 2.1.2 混凝土裂缝 concrete crack
混凝土结构受内外因素作用而产生的损伤，分为微观裂缝和宏观裂缝。
- 2.1.3 裂缝宽度 crack width
指垂直裂缝面方向上两壁的相对位移距离。
- 2.1.4 裂缝长度 crack length
沿裂缝走向的延伸尺寸。
- 2.1.5 裂缝面积 crack area
裂缝长度和裂缝平均宽度的乘积。
- 2.1.6 裂缝分形维数 crack fractal dimension
定量刻画裂缝分形特征参数，表征裂缝形态的复杂程度。
- 2.1.7 成像设备 imaging device
由成像元件、镜头等部件组成的满足薄透镜成像原理的设备。
- 2.1.8 焦距 focal length
光学系统中衡量光聚集或发散的度量方式，指透镜的光学中心到光焦点的距离。
- 2.1.9 图像分辨率 image resolution
图像采集设备可测到受检物体上的最小可分辨特征尺寸，也指每英寸图像内的像素点数。
- 2.1.10 物理分辨率 physical resolution
光学传感器上包含感光元器件的个数，一般以横纵的乘积表示。
- 2.1.11 像素 pixel
分辨率的单位，由数字序列表示图像中的最小单位。
- 2.1.12 感光元件 photosensitive element
将光信号转化成电信号的装置。
- 2.1.13 数字图像 digital image
由模拟图像数字化得到的、以像素为基本元素、可用数字计算机或数字电路存储和处理的图像。按表示方法的不同分为二值图像、灰度图像、彩色图像等。
- 2.1.14 数字图像处理 digital image processing
数字图像处理也称计算机图像处理，是运用计算机辅助工具将图像信号转换为便于分析处理的数字信号的过程，主要包含图像数字化、图像增强、图像分割、图像分析与描述、图像识别分类等处理方法和技术。
- 2.1.15 灰度图像 grayscale images
图像中每个像素可以由0~255的灰度值表示，具体表现为取全黑到全白中间有255个介于中间的灰度值。
- 2.1.16 图像二值化 image binaryzation
将图像上所有像素点的灰度值通过变换全部转化为0（纯黑色）或1（纯白色），使整个图像呈现出黑白效果，二值化后的图像称为二值图像。
- 2.1.17 图像增强 image enhancement
有选择的突出某一具体应用的有用信息，削弱或抑制一些无用的信息。
- 2.1.18 图像降噪 image noise reduction
减少数字图像中的噪声。

2.2 符号

2.2.1 混凝土裂缝参数:

- ω ——裂缝宽度;
- ω_{max} ——最大裂缝宽度;
- ω_{med} ——裂缝中值宽度;
- ω_{lim} ——最大裂缝宽度限值;
- l ——裂缝长度;
- A ——裂缝面积
- FD ——裂缝分形维数;

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 数字图像检测技术可用于工业和民用建筑物、桥梁结构、市政设施、公路路面、隧洞衬砌、水工混凝土结构等建设工程的混凝土裂缝检测，以下条件下宜采用数字图像法检测：

- 1 难以使用接触式方法检测或检测存在安全隐患时；
- 2 采用传统检测方法的效率较低时；
- 3 检测面积大、范围广、作业任务繁重时；
- 4 其他传统检测方法难以定量、全面、准确描述时。

3.1.2 对于重要的和有特殊要求的工程结构、失效后会造成严重影响的结构，宜结合《建筑变形测量规范》JGJ 8中的裂缝观测方法进行验证。

3.2 数字图像检测技术流程

3.2.1 数字图像检测技术基本流程（图3.2.1）应包括图像采集、图像处理、裂缝提取、输出数据和检测结果。



图 3.2.1 数字图像检测技术基本流程示意图

- 3.2.2 数字图像检测应依据检测委托与检测方法等要求，制定以下检测方案：
- 1 工程概况，包括结构类型、规模、施工日期、竣工日期及现状等；
 - 2 委托方的检测目的、检测依据和选用的检测方法；
 - 3 检测项目和检测数量；
 - 4 检测人员和仪器设备配置；
 - 5 检测工作进度计划和所需的配合工作；
 - 6 现场安全措施和环保措施。
- 3.2.3 数字图像检测程序如下：
- 1 选择成像设备，确定数字图像分辨率、图像像素和图像采集范围，记录环境条件；
 - 2 经过现场采集获取符合要求的数字图像数据；
 - 3 进行数字图像处理，数字图像数据应满足质量和技术指标要求；
 - 4 进行裂缝识别和裂缝参数提取并输出数据；
 - 5 输入数据如不满足要求，应重新采集、处理或提取；
 - 6 出具结构裂缝检测结果和结论。

3.3 设备和软件

- 3.3.1 数字图像检测技术人员应掌握数字图像采集、处理与提取的基本方法，具备操作成像设备和软件的能力。
- 3.3.2 所采用的成像设备应有产品合格证。成像设备应符合下列要求：
- 1 感光元件的物理分辨率应不小于视场/标称分辨率的 $1/3$ ；
 - 2 当检测对象成像变化较快时，快门宜选择全局曝光的电子快门或机械快门，当对测量速度要求较低时，可选择线扫描式的电子快门；
 - 3 快门速度和采样频率应满足动态测试的要求。
- 3.3.3 数字图像处理技术配置的图像处理软件或编程语言应与检测目的相匹配，使用的电子计算机的硬件配置应满足传输、处理和存储的要求。

4 图像采集

4.0.1 图像采集可采用无人机采集系统、水下机器人、手持式设备及监控设备进行现场采集，传输或至计算机中供后期图像处理。

4.0.2 成像环境应符合下列要求：

- 1 保证光照均匀、亮度柔和，不应逆光拍摄；
- 2 光线过暗时宜补充光源，补充光源应避免直射镜头；
- 3 成像环境应满足设备的正常使用，必要时采取防护措施；
- 4 拍摄站点应有效覆盖，避免盲区。

4.0.3 图像质量应符合下列要求：

- 1 数字图像的尺寸应与计算机处理能力相匹配。
- 2 数字图像应色彩清晰，无色彩偏差，无明显污染和伤痕；
- 3 采集时裂缝宜位于图像中央，裂缝图像应显示诊断尺度内的裂缝整体形态，不宜局部采集；
- 4 正面拍摄无法实施时，应进行全景拍摄和局部扫描拍摄合成全景正面图像。

5 图像处理和分折

5.1 图像处理

- 5.1.1 图像处理宜采用畸变差矫正、裁剪、格式转换、灰度化以及降噪与增强等方法。
- 5.1.2 成像器件拍摄姿态和扫描非线性引起的图像几何失真时应采取适当的数学模型或者算法进行图像畸变差矫正。
- 5.1.3 成像时应进行图像裁剪，裁剪后裂缝宜位于图像中央。
- 5.1.4 图像格式不同时应采用无损方法将图像转化为通用格式。
- 5.1.5 图像宜转化为灰度图像进行提取。
- 5.1.6 当对纹理复杂、光照不均匀的图像直接进行阈值分割或边缘检测时，若噪声较多应对图像进行降噪处理，降噪时不宜模糊边缘。
- 5.1.7 图像处理应保证裂缝信息完整，图像处理时应呈现裂缝整体形态。

5.2 裂缝提取

- 5.2.1 应根据裂缝细长的形态对裂缝进行识别，裂缝识别时应提取裂缝图像和排除背景区域。
- 5.2.2 裂缝提取可采用以下方法：
 - 1 对图像根据某一阈值进行二值化处理，区分裂缝和背景区域；
 - 2 采用监督、半监督或无监督的训练方法自动学习；
 - 3 将满足设定规则值的裂缝像素点归类到种子像素点，发展成大面积裂缝集合；
 - 4 根据中心像素点的特征值判断其是否为裂缝上的点。
 - 5 采用图像处理软件，通过鼠标点选或框选进行标记。

5.3 输出数据

- 5.3.1 裂缝宽度的计算可采用中心线垂线法、边缘线最小距离法、局部平均裂缝宽度法、灰度值法等方法。
- 5.3.2 应根据检测目的和现场情况选择合适的计算方法并在检测报告中注明，对于重要的单条裂缝应该计算裂缝宽度的平均值和最大值。
- 5.3.3 通过裂缝骨架图像上的像素点统计计算裂缝长度，多条相交裂缝应取主要裂缝的长度。
- 5.3.4 通过裂缝图像上所有的像素点求和计算裂缝面积。
- 5.3.5 分形维数的求解可采用差分盒子维法、面积-周长法、毯子覆盖法、分形布朗运动自相似模型法、基于多尺度的分数维法等方法，应根据检测目的和现场情况选择合适的计算方法，并在检测报告注明。

5.4 数据换算

- 5.4.1 裂缝参数应使用成像环境中的绝对尺寸进行像素单位与标准长度单位进行换算，用标准长度单位表达。必要时成像环境中代表绝对尺寸的参照物应进行计量校准。
- 5.4.2 数字图像法检测混凝土结构的最小可测裂缝宽度应不大于0.10mm，且应符合国家现行标准要求。
- 5.4.3 图像数据处理和分析的相对误差不宜大于10%，使用无人机平台拍摄裂缝图像时相对误差不宜大于20%。
- 5.4.4 图像数据处理和分析裂缝参数流程详见附录A。

6 检测结果

6.1 检测结果要求

- 6.1.1 根据检测目的和检测部位的整体情况确定诊断尺度并按对象表示检测结果。
- 6.1.2 较小的构件可按单个构件为诊断尺度表示检测结果，较大的构件可分段划分诊断尺度表示检测结果。
- 6.1.3 应提供对象的裂缝长度、裂缝最大宽度、裂缝中值宽度、裂缝面积和裂缝分形维数的数据，必要时对混凝土裂缝的整体情况进行说明。
- 6.1.4 检测结果的符合性判定宜按下列要求进行：
- 1 既有民用建筑的要求详见《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 20292；
 - 2 既有工业建筑的要求详见《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144；
 - 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010的要求详见附录B；
 - 4 《水工混凝土结构设计规范》DL/T 50579的要求详见附录C；
 - 5 《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99的要求详见附录D；
 - 6 其它工程依据本行业的相应标准规范的要求。

6.2 裂缝检测结果的评价

- 6.2.1 裂缝评价时应根据目的和需要获取适当的检测结果。
- 6.2.2 应根据选用的诊断尺度及量化参数建立病害样本空间。宜采用累计值作为病害样本空间中量化参数的数字特征。
- 6.2.3 裂缝诊断的主要内容如下：
- 1 根据使用情况和观测记录综合分析并判断裂缝的开裂时间；
 - 2 根据裂缝位置、方向、形态、宽度、长度和深度等特征判断裂缝对结构的影响程度和影响范围；
 - 3 分析裂缝产生的原因、危害并采取处理措施；
- 6.2.4 裂缝病害分级可按下列要求进行：
- 1 隧道衬砌裂缝病害分级标准详见附录E；
 - 2 桥梁混凝土裂缝分级标准详见附录F；
 - 3 其它混凝土结构裂缝分级标准应按照本行业的相关分级标准执行；
 - 4 未明确混凝土裂缝分级标准的工程结构类型可参照以上分级标准进行调整，经验证适用后需组织专家进行评议确定。
- 6.2.5 对结构裂缝结果的整体评价可依据结构物类别的相应规范或采用专家评分法、层次分析-模糊综合评判法、可变模糊评价法、可拓方法、聚类分析法、裂缝诊断专家系统等方法进行综合评价。

7 裂缝检测报告

7.0.1 检测原始记录应包括下列内容：

- 1 委托合同编号；
- 2 委托单位名称、工程名称、工程地址；
- 3 工程的建设单位、设计单位、施工单位及监理单位名称；
- 4 检测工程概况，包括结构类型、规模、施工日期、竣工日期及现状等；
- 5 检测的目的、依据和方法；
- 6 图像采集设备信息和图像处理软件信息；
- 7 图像采集时间、图像处理时间和数据输出时间；
- 8 现场的环境条件和检测中异常情况的描述记录；
- 9 检测部位和诊断尺度；
- 10 检测结果；
- 11 检测、复核人员签名；
- 12 检测单位和检测记录日期。

7.0.2 裂缝检测原始记录可采用附录G的格式。

7.0.3 检测报告应结论用词规范、文字简练、结论明确，对于容易混淆的概念和术语应书面做出解释，包括下列内容：

- 1 检测报告编号；
- 2 委托单位名称、工程名称、工程地址；
- 3 工程的建设单位、设计单位、施工单位及监理单位名称；
- 4 检测工程概况，包括结构类型、规模、施工日期、竣工日期及现状等；
- 5 检测的目的、依据和方法；
- 6 图像采集设备信息和图像处理软件信息；
- 7 检测部位和诊断尺度；
- 8 检测结果和结论；
- 9 主要检测人、审核和批准人的签名；
- 10 检测单位的名称、地址和通用信息；
- 11 报告的编号和每页及总页数的标识。
- 12 检测日期和报告完成日期。

附录 A 图像数据处理和分析裂缝参数流程

A.0.1 采用图像数据处理和分析混凝土棱柱体试件表面裂缝参数流程（图A.0.1）如下：

- 1 利用成像设备获取结构或构件的图片；
- 2 根据需要可初步对图片进行裁剪；
- 3 利用深度学习检测模型对图片中裂缝进行像素级的识别和提取，进行图像二值化，获得黑色为裂缝、白色为背景的二值图；
- 4 通过骨架提取、最大内切圆法等图像处理方法获得裂缝的长度、面积、最大宽度、中值宽度和分形维数等参数。

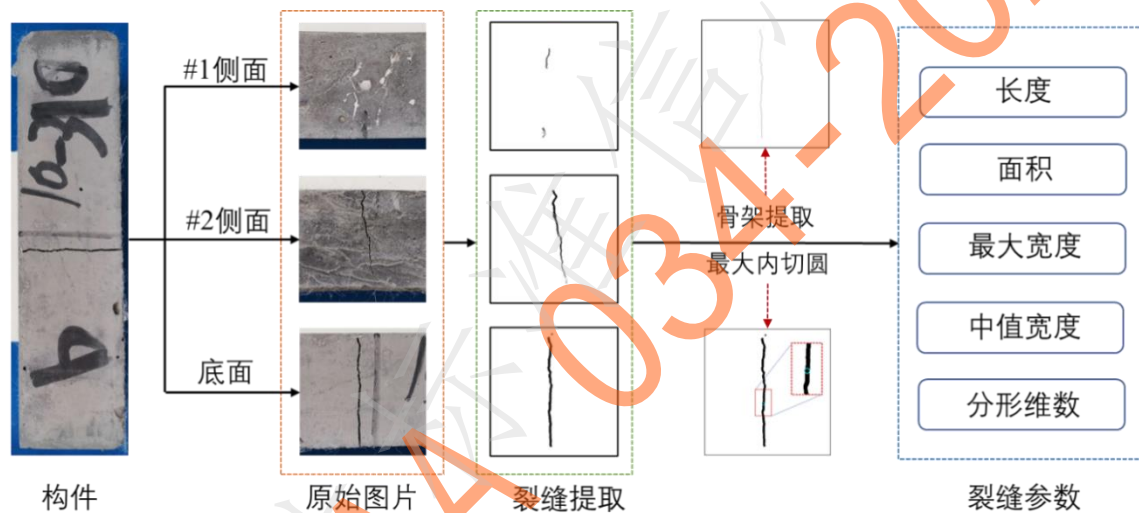


图 A.0.1 图像数据处理和分析裂缝参数流程图*

*Li, L., Sun, H. X., Zhang, Y., & Yu, B. (2021). Surface Cracking and Fractal Characteristics of Bending Fractured Polypropylene Fiber-Reinforced Geopolymer Mortar. *Fractal and Fractional*, 5(4), 142.

附录 B 《混凝土结构设计规范》的要求

B.0.1 结构构件应根据结构类型和本规范第B.0.2条规定的环境类别，按表B.0.1的规定选用不同的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值 ω_{lim} 。

表B.0.1 结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度的限值 (mm)

| 环境类别 | 钢筋混凝土结构 | | 预应力混凝土结构 | |
|---------|---------|----------------|----------|----------------|
| | 裂缝控制等级 | ω_{lim} | 裂缝控制等级 | ω_{lim} |
| — | 三级 | 0.30 (0.40) | 三级 | 0.20 |
| 二 a | | 0.20 | | |
| 二 b | | | 二级 | / |
| 三 a、三 b | | | 一级 | / |

注：①对处于年平均相对湿度小于60%地区一类环境下的受弯构件，其最大裂缝宽度限制可采用括号内的数值；

②在一类环境下，对钢筋混凝土屋架、托架及需做疲劳验算的吊车梁，其最大裂缝宽度限值应取为0.20mm；对钢筋混凝土屋面梁和托梁，其最大裂缝宽度限值应取为0.30mm；

③在一类环境下，对预应力混凝土屋架、托架及双向板体系，应按二级裂缝控制等级进行验算；对一类环境下的预应力混凝土屋面梁、托梁、单向板，应按表中二a类环境的要求进行验算；在一类和二a类环境下需作疲劳验算的预应力混凝土吊车梁，应按裂缝控制等级不低于二级的构件进行验算；

④表中规定的预应力混凝土构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值仅适用于正截面的验算；预应力混凝土构件的斜截面裂缝控制验算应符合《混凝土结构设计规范》GB50010-2010的有关规定；

⑤对于烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；

⑥对于处于四、五类环境结构下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；

⑦表中的最大裂缝宽度限值为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

B.0.2 混凝土结构暴露的环境类别应按表B.0.2的要求划分。

表B.0.2 混凝土结构的环境类别

| 环境类别 | 条件 |
|------|---|
| 一 | 室内干燥环境；无侵蚀性静水浸没环境 |
| 二 a | 室内潮湿环境；非严寒和非寒冷地区的露天环境；非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境；严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境 |
| 二 b | 干湿交替环境；水位频繁变动环境；严寒和寒冷地区的露天环境；严寒和寒冷地区的冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境 |
| 三 a | 严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境；受除冰盐影响环境；海风环境 |
| 三 b | 盐渍土环境；受除冰盐作用环境；海岸环境 |
| 四 | 海水环境 |
| 五 | 受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境 |

注：①室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或湿润状态的环境；

②严寒和寒冷地区的划分应符合现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176的有关规定；

③海岸环境和海风环境宜根据当地情况，考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响，由调查研究和工程经验确定；

④受除冰盐影响环境是指受到除冰盐盐雾影响的环境；受除冰盐作用环境是指被除冰盐溶液溅射的环境以及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑；

⑤暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

附录 C 《水工混凝土结构设计规范》的要求

C.0.1 对于需控制裂缝宽度的结构构件，应根据本规范第C.0.2条规定的环境条件类别，按标准组合并考虑长期作用的影响进行裂缝宽度或钢筋应力的验算，构件正截面的最大裂缝宽度计算值不应超过表C.0.1所规定的最大裂缝宽度限值。

表C.0.1 钢筋混凝土结构构件的最大裂缝宽度限值 (mm)

| 环境类别 | w_{lim} |
|------|-----------|
| 一 | 0.40 |
| 二 | 0.30 |
| 三 | 0.25 |
| 四 | 0.20 |
| 五 | 0.15 |

注1：当结构构件承受水压且水力梯度 $i > 20$ 时，表列数值宜减小 0.05。
注2：结构构件的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，表列数值可增加 0.05。
注3：结构构件表面设有专门的防渗面层等防护措施时，最大裂缝宽度限值可适当加大。

C.0.2 水工混凝土结构所处的环境条件可按表C.0.2划分为五个类别。

表C.0.2 水工混凝土结构所处的环境条件及类别

| 环境类别 | 环境条件 |
|------|------------------------------|
| 一 | 室内正常环境 |
| 二 | 露天环境；室内潮湿环境；长期处于地下或淡水水下环境 |
| 三 | 淡水水位变动区；弱腐蚀环境；海水水下环境 |
| 四 | 海上大气区；海水水位变动区；轻度盐雾作用区；中等腐蚀环境 |
| 五 | 海水浪溅区及重度盐雾作用区；使用除冰盐的环境；强腐蚀环境 |

注：冻融比较严重的三、四类环境条件的建筑物，可将其环境类别提高一类。

附录 D 《城市桥梁养护技术规范》的要求

D.0.1 钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁裂缝应根据裂缝类型和构件抗裂等级分别采用不同的最大裂缝宽度限值，恒载裂缝的最大宽度限值应符合表D.0.1的规定。

表D.0.1 恒载裂缝宽度最大限值

| 结构类型 | 裂缝部位及所处侵蚀环境 | | 允许最大裂缝宽度 (mm) | |
|----------|---------------------|------|---------------------|---------------------|
| 钢筋混凝土构件 | A类 | | 0.20 | |
| | B类 | | 0.20 | |
| | C类 | | 0.15 | |
| | D类 | | 0.15 | |
| 预应力混凝土构件 | 非结构裂缝 | | 0.10 | |
| | 结构裂缝 | | 不允许或按设计规定 | |
| 混凝土拱 | 拱圈横向 | | 0.30 (裂缝高小于截面高的一半) | |
| | 拱圈竖向 (纵缝) | | 0.50 (裂缝长小于跨径 1/8) | |
| | 拱波与拱肋结合处 | | 0.20 | |
| 墩台 | 墩台帽 | | 0.30 | |
| | 墩台身 | A类 | 0.40 (不允许贯通墩台身截面一半) | |
| | | B类 | 有筋 | 0.25 |
| | | | 无筋 | 0.35 (不允许贯通墩台身截面一半) |
| | | C、D类 | 有筋 | 0.20 |
| 无筋 | 0.30 (不允许贯通墩台身截面一半) | | | |

注：所处侵蚀环境按表D.0.2侵蚀环境分类表规定选取。

D.0.2 桥梁结构的侵蚀环境分类如表 D.0.2 所示。

表D.0.2 侵蚀环境分类

| 侵蚀环境分类 | 状态描述 |
|--------|---|
| A类 | 无侵蚀性静水浸没环境，与无侵蚀性土壤直接接触的环境 |
| B类 | 严寒和寒冷地区露天环境，构件表面经常处于结露或湿润状态的环境，水位频繁变动环境 |
| C类 | 距海岸线 1km 范围内，直接承受盐雾影响的环境 |
| D类 | 盐渍土环境，受除冰盐作用环境，严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境 |

附录 E 隧道衬砌裂缝病害分级标准

E.0.1 根据裂缝宽度可按以下两种情况进行分级：

1 《铁路工务技术手册——隧道》按裂缝的宽度将裂缝分为毛裂纹（ ≤ 0.3 mm）、小裂纹（ $0.3 \sim 2$ mm）、中裂缝（ $2 \sim 20$ mm）、大裂缝（ > 20 mm）四个等级；

2 将非预应力混凝土衬砌裂缝分为轻度（ ≤ 0.8 mm）、中度（ $0.8 \sim 3.2$ mm）和重度（ > 3.2 mm）三个等级，将预应力混凝土衬砌分为中度（ ≤ 0.1 mm）和重度（ > 0.1 mm）两个等级。

E.0.2 根据铁路隧道开裂的宽度和长度对衬砌开裂进行的综合分级如表E.0.2所示。

表E.0.2 铁路隧道衬砌开裂分级

| 开裂宽度/mm | 开裂长度 | | |
|---------|-------------------|----------------|----------------|
| | > 10 m | 5-10m | < 5 m |
| > 5 | AA-A ₁ | A ₁ | A ₁ |
| 3-5 | A ₁ | A ₁ | A ₂ |

注：AA代表危险，A₁代表迟早有危险，A₂级代表以后有危险。

E.0.3 基于隧道裂缝长度、宽度和深度分级如表E.0.3所示。

表E.0.3 基于隧道裂缝长度、宽度和深度的分级

| 等级 | 评价指标与标准 | | |
|----|------------------|-------------------------|--------------------|
| | 裂缝长度 l (m) | 裂缝宽度 ω (mm) | 裂缝深度 K |
| A | $l \geq 5$ | $\omega \geq 2.5$ | $K \geq 1/2$ |
| B | $2.5 \leq l < 5$ | $0.5 \leq \omega < 2.5$ | $1/3 \leq K < 1/2$ |
| C | $1 \leq l < 2.5$ | $0.2 \leq \omega < 0.5$ | $1/4 \leq K < 1/3$ |
| D | $l < 1$ | $\omega < 0.2$ | $K < 1/4$ |

注：A代表严重，B代表较重，C代表中等，D代表轻微。

裂缝深度K以其占结构厚度的比例表示。

附录 F 桥梁混凝土裂缝分级标准

F.0.1 《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21对混凝土裂缝从定性和定量两方面的评价规定如表 F.0.1所示。

表F.0.1 混凝土梁裂缝评定标准

| 结构等级 | 评定标准 | |
|------|--|---|
| | 定性描述 | 定量描述 |
| 1 | 完好 | / |
| 2 | 局部出现网状裂缝，或主梁出现少量轻微裂缝，缝宽未超限 | 网状裂缝累计面积 \leq 构件面积的 20%，单处面积 $<1.0\text{m}^2$ ，或主梁裂缝缝长 \leq 截面尺寸的 $1/3$ |
| 3 | 出现大面积网状裂缝，或主梁出现较多横向裂缝，或顺主筋方向出现纵向裂缝，或出现斜裂缝、水平裂缝、竖向裂缝等，缝宽未超限 | 网状裂缝累计面积 \geq 构件面积的 20%，单处面积 $>1.0\text{m}^2$ ，或主梁裂缝缝长 $>$ 截面尺寸的 $1/3$ 且 \leq 截面尺寸的 $2/3$ |
| 4 | 主梁控制截面出现较多横向裂缝，或顺主筋方向出现严重纵向裂缝并伴有钢筋锈蚀等，或出现斜裂缝、水平裂缝、竖向裂缝等，缝宽超限 | 主梁裂缝缝长 $>$ 截面尺寸的 $2/3$ ，间距 $<20\text{cm}$ |
| 5 | 主梁控制截面出现大量结构性裂缝，裂缝大多贯通，且缝宽超限，主梁出现变形 | 主梁裂缝缝宽 $>1.0\text{mm}$ ，间距 $\leq 10\text{cm}$ |

附录 G 裂缝检测原始记录

表 G 裂缝检测原始记录

| 混凝土裂缝检测原始记录 | | | | | |
|--------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 合同编号 | | | | | |
| 委托单位 | | | | | |
| 工程名称 | | | | | |
| 工程地址 | | | | | |
| 建设单位 | | | 设计单位 | | |
| 施工单位 | | | 监理单位 | | |
| 工程概况 | | | | | |
| 结构类型 | | | 检测目的 | | |
| 检测依据 | | | 检测方法 | | |
| 图像采集 设备信息 | | | 图像处理 软件信息 | | |
| 图像采集 时间 | | 图像处理 时间 | | 数据输出 时间 | |
| 环境条件 | | | 异常情况 | | |
| 检测部位 | | | 诊断尺度 | | |
| 裂缝病害参数检测结果 | | | | | |
| 对象编号 | 裂缝长度 l (mm) | 裂缝最大 宽度 ω_{max} (mm) | 裂缝中值 宽度 ω_{med} (mm) | 裂缝面积 A (mm ²) | 裂缝分形 维数 FD |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| ... | | | | | |
| N | | | | | |
| N+1 | | | | | |
| 检测人 (签名) | | | 复核人 (签名) | | |
| 检测单位 | | | 日期 | | |

参 考 文 献

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 20292
- 3 《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144;
- 4 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 5 《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057
- 6 《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99
- 7 《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)
- 8 《铁路工务技术手册——隧道》

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时，其写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

河南省认证认可协会团体标准
数字图像法检测混凝土裂缝技术标准

T/HNCAA 034-2022

条文说明

T/HNCAA 034-2022

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 1 总则 | 22 |
| 2 术语和符号 | 23 |
| 2.1 术语 | 23 |
| 3 基本规定 | 24 |
| 3.3 设备和软件 | 24 |
| 4 图像采集 | 25 |
| 5 图像处理和分析 | 26 |
| 5.1 图像处理 | 26 |
| 5.2 裂缝提取 | 26 |
| 5.3 输出数据 | 26 |
| 5.4 数据换算 | 27 |
| 6 检测结果 | 28 |
| 6.1 检测结果要求 | 28 |
| 6.2 裂缝检测结果的评价 | 28 |

1 总则

1.0.1 裂缝是混凝土的常见病害，也是导致混凝土结构耐久性降低的主要原因之一。传统的裂缝检测方法主要依靠人工检测，具有费时费力、主观性强、检测精度低等特点，且不利于开展高层结构、大跨度结构、核电站、大坝等结构的检测，难以满足现代结构检测的需要。

随着高清摄像头、无人机等传感技术的普及，获取混凝土表面裂缝的高清图像已比较方便快捷。因此，国内外开展了大量基于数字图像识别方法的混凝土裂缝病害检测研究，能够快速、精准地从数字图像中对混凝土表面裂缝的病害区域进行语义分割，并进一步依据病害图像的识别结果实现混凝土病害实时诊断。

相较于人工检测，基于图像的混凝土表面缺陷检测具有非接触、便捷、准确、安全、成本低等优点，近年来开始广泛应用于各类结构检测。

本标准编制的宗旨是为提高混凝土裂缝检测的时效性、经济性、准确性，规范数字图像技术用于混凝土裂缝检测的方法、基本流程及适用范围，保证检测精度和可靠性，为检测结果处理与判断提供可靠依据。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 裂缝

术语定义引用自：《工程结构数字图像法检测技术规程（征求意见稿）》，根据不同的分类方法，裂缝分类如下：

- 1 按成因可分为塑性塌落裂缝、收缩裂缝、温度裂缝、水化热裂缝、地基沉陷裂缝和应力集中裂缝等；
- 2 按形状可分为平行裂缝、交叉裂缝、八字裂缝、放射裂网、网状裂缝、龟裂等；
- 3 按裂缝深度可分为浅表裂缝、保护层裂缝、深层裂缝和贯穿性裂缝等；
- 4 按裂缝产生时间可分为施工期裂缝和使用期裂缝；
- 5 按裂缝的发展状态可分为稳定裂缝和不稳定裂缝。

2.1.6 裂缝分形维数

术语定义引用自：郭伟，秦鸿根，陈惠苏，孙伟. 分形理论及其在混凝土材料研究中的应用. 硅酸盐学报. 2010(07):1362-1368。

2.1.7 成像设备

术语定义引用自：《工程结构数字图像法检测技术规程（征求意见稿）》。

2.1.15 灰度图像

术语定义引用自：雷斯达，曹鸿猷，康俊涛. 基于深度学习的复杂场景下混凝土表面裂缝识别研究[J]. 公路交通科技, 2020, 37(12):80-88。

2.1.16 图像二值化

术语定义引用自：赵永志，彭国华. 一种有效的图像二值化方法 [J]. 科学技术与工程, 2007, 7(1):140-141。

2.1.17 图像增强

术语定义引用自：周颖，刘彤. 基于计算机视觉的混凝土裂缝识别[J]. 同济大学学报, 2019, 47(9):1277-1285。

2.1.18 图像降噪

术语定义引用自：刘宇飞，樊健生，聂建国等. 结构表面裂缝数字图像法识别研究综述与前景展望[J]. 土木工程学报, 2021, 54(6):79-98。

3 基本规定

3.3 设备和软件

3.3.2 常用的数字图像采集设备有数码相机、数码摄像机、智能手机、航拍无人机、水下机器人、监控设备等。

3.3.3 常用的数字图像处理软件有 Image-Pro、Adobe Photoshop、Adobe Lightroom、Adobe Photoshop Elements、Corel AfterShot Pro、RawTherapee、ImageEditor、FreeImage等，也可采用适当的编程语言，如Python、Matlab等。

4 图像采集

4.0.1 图像采集可采用以下方法：

- 1 由飞行控制系统、云台控制系统、微波传输系统组成无人机图像采集系统，拍摄画面并通过微波、蓝牙、无线网络等方式传输到地面接收设备中进行储存；
- 2 利用能够在特殊环境中长时间作业的水下机器人等高科技装备，拍摄画面并进行传输或储存；
- 3 采用智能手机或者数码相机等手持式设备进行拍摄；
- 4 利用带高清摄像头的监控设备进行拍摄。

5 图像处理和分析

5.1 图像处理

5.1.2 现行较为常见的算法是基于现场可编程逻辑门阵列的图像矫正变形算法。

5.1.5 对图像进行灰度化是对图像的RGB三个分量进行加权平均得到最终的灰度值，裂缝提取时可将图像转化为灰度图像，以增强基体与裂缝的对比度。

5.1.6 图像中存在不同于裂缝的像素点，应采用滤波或人机交互的方式进行处理；图像降噪可选择合适的降噪滤波器，比如空间域滤波器和频率域滤波器等；图像增强可以采用剪影、细化等方式增强图像细部结构，其常用的方法包括直方图均衡化法、图像平滑法、图像尖锐化法和伪彩色法。

5.2 裂缝提取

5.2.1 利用裂缝（形状形态）与混凝土其他表面损伤进行区别；根据裂缝的位置与其他细长物体进行区别。

5.2.2 各种裂缝提取方法如下：

1 在阈值分割的二值化处理过程中，大于某一阈值的像素被转化为白色，小于某一阈值的像素被转化为黑色，从而实现裂缝与背景的完全区分。应注意阈值分割后裂缝特征被有效提取，但同时存在一些孤立点、孤立块等噪声，且部分裂缝可能存在间断。可对其进行进一步处理，比如形态学膨胀、基于裂缝特征进行滤波、形态学腐蚀等。

2 深度学习是一类能够通过监督、半监督或无监督的训练方法自动学习，训练数据中隐藏的数据内部结构的一类多层神经网络算法。深度学习法，包括数据库准备、数据处理、训练、测试、应用等步骤。数据库准备应该包含大量具有代表性的正负样本，避免过度拟合，数据样本的标签由人工标记。

3 区域生长法对设备要求简单，易于实现，开发相应的软件可以方便快捷地提取建筑裂缝。该算法能够实现断裂裂缝的连接，但计算量大且易受噪声影响，从而降低裂缝检测的准确率。

4 基于渗流模型的裂缝检测方法是一种可变的局部处理方法，其基本思想是根据中心像素点的特征值判断其是否为裂缝上的点。若中心像素点属于裂缝，渗流区域将线性生长；若中心像素点属于背景，渗流区域将向各方向生长。渗流算法充分考虑了邻域像素点间灰度值的连续性，从而保证了裂缝的连续性。此外，该算法同时利用裂缝的灰度特征和形状特征，能够检测到不清晰的裂缝。但该算法的处理时间长，不能很好地满足实时性要求。

5.3 输出数据

5.3.1 裂缝宽度对评估裂缝的严重程度以及其对结构物理性能的影响具有重要作用，也是裂缝定量检测中最重要的参数之一。中轴线垂线法应通过以下方法计算：应对每条裂缝提取两条边缘线与一条中轴线；对于裂缝上中轴线上待求宽度的某点，应作通过该点且与中轴线垂直的线；该垂线与两条边缘线的交点之间的距离即为该点的裂缝宽度。裂缝宽度最大值可采用最大内切圆法。

5.3.4 求和裂缝图像上所有的像素点计算是最为简便的一种方法。求和裂缝所有像素点会产生一定的误差，误差多数可忽略。

5.3.5 裂缝分形维数可定量和定性反映混凝土表面损伤程度。不是所有的不规则图形都具有分形特征，只有在一定标度范围内满足自相似性的图形才满足分形特征。研究混凝土裂缝的分形特征，关键在于计算结构表面裂缝对应的分形维数值是否满足非欧式空间的要求。现行求解分形维数的方法有很多：差分盒子维法、面积-周长法、毯子覆盖法、分形布朗运动自相似模型法、基于多尺度的分数维法。进行分形维数计算时，应该结合使用场景和需要选择合适的计算方法，并在检测报告中予以说明。

5.4 数据换算

5.4.1 裂缝的指标，如宽度、长度、分布参数等，上述输出数据的单位均为像素，应根据其参照物的像素参数与实际参数比例计算出裂缝实际参数。

5.4.3 裂缝宽度检测的相对精度是指相对于裂缝尺、裂缝显微镜或游标卡的检测结果。参考规范《工程结构数字图像法检测技术规程（征求意见稿）》。

6 检测结果

6.1 检测结果要求

6.1.2 当诊断结构为一座桥梁时，应取该桥梁中一个独立梁段上所有裂缝进行诊断；当诊断结构为一座混凝土大坝时，应取该大坝中一个独立坝段上所有裂缝进行诊断；当诊断结构为一座隧道，应取该隧道中一个独立浇筑段上所有裂缝进行诊断。

6.2 裂缝检测结果的评价

6.2.2 在建立病害样本空间时，可取裂缝病害的长度、最大宽度、走向、分布密度、位置、数量、开裂部位、裂缝面积、裂缝深度、所在部位、裂缝总长度、裂缝发展率、分形维数、裂缝的形态发展情况以及裂缝形态随时间、气温和干湿环境的变化等多个维度中的一个或几个为量化参数。需注意的是，多数情况下裂缝宽度（最大宽度）须被选为量化参数。

在诊断尺度范围内，裂缝病害量化参数的数字特征主要有平均值、最大值、累计值三种。平均值代表病害量化参数的平均水平，而平均值较容易忽视样本中危害性较大的大裂缝的相关数据，因此难以表示出样本空间中病害的严重程度；最大值能够清晰地将样本空间中最严重的单个病害表示出来，但不能考虑病害的数量，相当于丢失了数量信息；累计值是将样本空间中全部病害的量化参数累加起来，即针对某一诊断尺度下，包含了单个样本所在范围内的全部量化参数指标的全部数据；因此，累计值既考虑了病害数量，又可以代表样本空间中病害的严重程度。

6.2.3 裂缝分布以及形态应该包括裂缝的位置、方向、形状、宽度、长度、深度、数量信息。根据裂缝分布判断裂缝类型、构件或者结构损伤程度。从开裂时间、裂缝现状和发展变化三个方面调查分析，进行混凝土裂缝诊断，其诊断的主要内容有以下几个方面：

1 依据荷载作用、使用过程和裂缝宽度变化的记录，进行综合分析判断裂缝的开裂时间与发现裂缝时间的关系。

2 裂缝现状包括裂缝位置、裂缝的方向与形状、裂缝宽度、裂缝的长度和深度等。需调查清楚裂缝在结构的分布区域及在构件上的位置。根据裂缝宽度可判断裂缝对混凝土结构物影响程度，应特别注意裂缝宽度的不同以及是否发展变化。根据裂缝的长度可以大致确定裂缝的影响范围，当可取得裂缝深度的数据时，可区分为浅表裂缝、保护层裂缝、深层裂缝和贯穿性裂缝。应分析裂缝产生的原因，应注意区分不同原因产生的裂缝的形状，确定需采用的处理方法。一般裂缝的方向与主拉应力方向是相互垂直的，应详细记录裂缝的方向。

3 裂缝的发展变化

根据裂缝的发展变化诊断裂缝产生的原因、危害以及如何采取处理措施，可区分裂缝是受力裂缝还是变形裂缝，是稳定裂缝还是不稳定裂缝。

6.2.5 各种裂缝结果评价方法如下：

1 可根据结构物类别查阅相应规范，根据结构物裂缝数据对照规范上的等级划分，对裂缝危害性进行评价；

2 组建由不少于一定数量的专家组成的评分小组，专家应具有检测、设计、建设、施工、维护和管理、研究等工作背景。在开展裂缝病害严重程度评定工作之前，告知全体专家关于相应结构物病害诊断的基本定义和假设，并允许专家对其意见或观点进行一定的讨论交流，但在评分过程中禁止专家之间进行任何形式上的交流。在评定过程中，专家在室内计算机上查阅获取到的结构物表面图像，并对诊断尺度内的裂缝病害的严重程度进行打分和记录。对于裂缝病害严重程度的打分标准，可参考相关的专家评分标准，建议按照5个等级，分别是：很好(1分)、好(2分)、一般(3分)、差(4分)、很差(5分)。计算得到所有专家评分结果的平均值和标准差，最后对裂缝危害性进行评价；

3 层次分析方法和模糊综合评判方法对混凝土结构进行安全评估，根据层次分析方法确定裂缝各特征参数指标的权重，再根据模糊综合评判方法建立混凝土结构的安全状态评估体系；

4 可变模糊评价原理设有 n 个指标来评价裂缝危害程度，通过分析混凝土裂缝性质及其对结构应力和安全影响确定裂缝评价的各指标级别标准值区间。评价指标有定量和定性两种，定量指标的标准区

间值可参考已有工程标准或依据专家意见确定;定性指标利用打分法量化,按照十分制原则确定各等级的分值。通过对定性指标的量化处理,让定性指标与定量指标一起参与到评价中。利用可变模糊评价模型确定各指标对裂缝危害性级别标准区间的相对隶属度,通过变化模型参数,判断样本的评价等级;

5 将可拓理论引入到裂缝危害性等级划分中,建立裂缝危害性多参数综合评价的物元模型,用关联函数及关联度来确切地反映裂缝危害等级及程度,把裂缝危害转换成更容易定量描述的“替代物”来进行定量评价;

6 聚类分析法是选取裂缝的长度、最大宽度、分形维数作为诊断指标,通过聚类、回归分析等手段依次客观地建立病害分级档数、病害诊断指标以及病害等级的分级标准,对裂缝危害性进行评价;

7 采用现浇钢筋混凝土结构裂缝诊断的专家系统,对现浇钢筋混凝土裂缝危害性进行评价。