

CSCS

中国钢结构协会团体标准

T/CSCS XXX –

计算机视觉法检测工程结构表面缺陷 技术规程

Technical specification for detecting surface defects
of engineering structures by computer vision

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中 国 钢 结 构 协 会 发 布

中国钢结构协会团体标准

计算机视觉法检测工程结构表面缺陷技术规程

Technical specification for detecting surface defects of engineering
structures by computer vision

T/CSCS XXX - 20XX

前 言

根据中国钢结构协会《2025年第二批团体标准编制计划》的通知，中冶建筑研究总院有限公司会同有关单位组成标准编制组，经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.图像数据采集系统；5.计算机视觉检测模型；6.工程施工质量验收外观检测；7.既有工程结构外观缺陷检测；8.结果记录，并附有条文说明。

本标准由中国钢结构协会批准发布，并组织中冶建筑研究总院有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本标准实施过程中如有意见或建议，请寄送深圳市南山区塘岭路1号23层，邮编：518000。

本标准主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

本标准主要指导人员：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	5
3.1	一般规定	5
4	图像数据采集系统	7
4.1	一般规定	7
4.2	技术要求	7
4.3	操作要求	9
5	计算机视觉检测模型	10
5.1	一般规定	10
5.2	图像预处理	10
5.3	数据集的构建	10
5.4	机器学习模型的构建	11
5.5	机器学习模型测试	13
5.6	计算机视觉检测模型的认证	14
6	工程施工质量验收外观检测	16
6.1	一般规定	16
6.2	焊缝外观质量检测	16
6.3	螺栓连接外观质量检测	16
6.4	钢结构原材料与成品外观质量检测	16
6.5	钢筋安装质量检测	17
6.6	金属涂层外观质量检测	17
6.7	混凝土结构外观质量检测	17
7	既有工程结构外观缺陷检测	19
7.1	一般规定	19
7.2	裂缝检测	19
7.3	螺栓连接缺陷检测	21
7.4	玻璃幕墙外观缺陷检测	21
8	结果记录	23
	本标准用词说明	24
	引用标准名录	25
	附：条文说明	26

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terminology.....	2
2.2	Symbol.....	4
3	Basic Provisions	5
3.1	General Provisions	5
4	Image Data Acquisition System.....	7
4.1	General Provisions	7
4.2	Technical Requirements	7
4.3	Operational Requirements	9
5	Computer Vision Inspection Models	10
5.1	General Provisions	10
5.2	Image Preprocessing	10
5.3	Image Dataset Creation	10
5.4	Building Machine Learning Models.....	11
5.5	Machine Learning Model Testing.....	13
5.6	Certification of Computer Vision Inspection Models.....	14
6	Acceptance of Engineering Construction Quality and Appearance Inspection	16
6.1	General Provisions	16
6.2	Weld Appearance Quality Inspection	16
6.3	Bolted Joint Appearance Quality Inspection	16
6.4	Appearance Quality Inspection of Steel Structure Raw Materials and Finished Products	16
6.5	Reinforcement Installation Quality Inspection	17
6.6	Appearance Quality Inspection of Metal Coating	17
6.7	Appearance Quality Inspection of Concrete Structures.....	17
7	Detection of Appearance Defects of Existing Engineering Structures	19
7.1	General Provisions	19
7.2	Crack Detection.....	19
7.3	Bolted Joint Defect Detection	21
7.4	Detection of Appearance Defects of Glass Curtain Wall	21
8	Result Recording	23
	Explanation of The Terms Used in This Standard	24
	List of Citations	25
	Explanation.....	26

1 总 则

1.0.1 为规范工程结构基于计算机视觉表面缺陷检测的技术要求，提高工程质量、安全的检测技术水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于针对在建或既有工程的结构表面，采用计算机视觉法检测涉及质量、安全等方面缺陷的场景。

1.0.3 工程结构基于计算机视觉表面缺陷的检测除应符合本标准规定外，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 计算机视觉法 computer vision method

利用计算机对数字图像进行处理、分析和理解的技术。

注：本规程所述的计算机视觉法是以机器视觉为核心技术实现的。

2.1.2 机器学习

通过计算技术优化模型参数的过程,使模型的行为反映数据或经验。

2.1.3 数字图像 digital image

由模拟图像数字化得到的、以像素为基本元素的、可以用数字计算机或数字电路存储和处理的图像。

2.1.4 图像采集系统 image acquisition system

由光学成像设备、数据存储模块、数据传输模块及承载图像采集设备的搭载平台组成的系统，用于采集建筑结构表面特征的数字图像数据，为后续图像分析提供基础信息。

2.1.5 图像分辨率 image resolution

图像单位尺寸中包含的像素点数，用于描述图像精细程度。

2.1.6 可见光相机 visible light camera

使用可见光谱范围内的光线进行拍摄的相机，通过镜头收集光线，将其聚焦到感光元件上，再将光信号转化为电子信号，最终形成数字图像。

2.1.7 数据标注 data labelling

给数据样本指定目标变量和赋值的过程。

2.1.8 训练集 training set

用于训练机器学习模型的输入数据样本子集。

2.1.9 验证集 validation set

用于评估单个或多个候选机器学习模型性能的数据样本子集。

2.1.10 测试集 validation set

用于评估单个或多个候选机器学习模型性能的数据样本子集。

2.1.11 有监督机器学习 supervised machine learning

仅用标注数据进行训练的机器学习。

2.1.12 鲁棒性 robustness

机器学习模型在任何情况下都保持其性能水平的特性。

2.1.13 图像分类 image classification

根据一定的规则，将图像自动划分到某一个预定义类别。

2.1.14 图像分割 image segmentation

将图像分解成若干个各向同性区域。

2.1.15 目标检测 object detection

确认图像中是否存在指定类别的对象并确定其位置和大小。

2.1.16 精度 precision

确被预测为正样本的集合中正样本的比率。

2.1.17 召回率 recall

被正确预测的正样本占全部正样本的比率。

2.1.18 F1 测度 F1 score

精度和召回率的调和平均值。

2.1.19 受试者工作特征曲线 receiver operating characteristic curve

由不同设定条件下的真正率和假正率值画出的响应曲线。

2.1.20 欠拟合 underfitting

由于训练数据不足或不充分导致创建的模型在面向新数据时性能表现不佳或不准确。

2.1.21 过拟合 overfitting

创建的模型过于精确地拟合训练数据,对新数据缺乏泛化性。

2.1.22 视场 Field of view

成像系统可观察到的区域。

2.1.23 感兴趣区域 Region of Interest

图像中需要特别关注或处理的区域，该区域可包含目标物体、关键结构或需分析的样本，旨在缩小处理范围并聚焦核心信息。

2.1.24 图像拼接 image Stitching

将具有重叠区域的多幅图像进行组合以生成一幅全景或高分辨率图像。

2.2 符号

- α —— 螺栓角度；
- θ —— 螺栓轮廓边缘直线角度；
- k —— 检测到的轮廓边缘直线数量；
- i —— 螺栓轮廓边缘直线编号；
- β —— 螺栓的旋转角度；
- T —— 螺栓松动角度判别阈值。

3 基本规定

3.1 一般规定

- 3.1.1 计算机视觉检测技术可用于工程施工验收外观质量与既有工程结构外观缺陷指标的检测。
- 3.1.2 当工程结构表面缺陷检测面临以下问题时宜采用计算机视觉法进行检测：
- 1 难以使用接触式方法检测或检测存在安全隐患时；
 - 2 采用人工检测效率低下时；
 - 3 需连续大面积检测时；
 - 4 其他传统检测方式难以定量、全面、客观描述时。
- 3.1.3 计算机视觉法检测人员应具备图像获取所需成像设备的操作能力。
- 3.1.4 根据具体业务需求，宜通过建立计算机视觉应用软件完成检测数据的自动分析处理。
- 3.1.5 应对计算机视觉法输出的检测结果进行人工核对与确认。
- 3.1.6 计算机视觉法检测宜按下述流程进行：

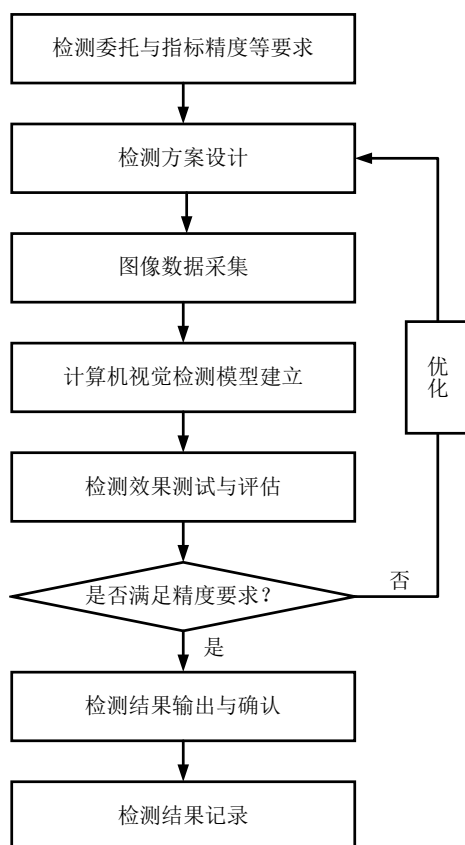


图 3.1.1 计算机视觉法检测流程图

3.1.7 计算机视觉法检测应根据检测委托与指标精度等要求，按下列规定制定检测流程：

- 1 确定数字图像分辨率、成像元件参数、镜头参数与成像范围，完成成像设备与摄影方案的选定，制定检测方案；
- 2 经过成像操作获取符合要求的数字图像数据，完成图像采集；
- 3 根据检测指标，完成计算机视觉检测模型的设计与建立；
- 4 对检测效果进行测试与评估，如满足精度要求则完成检测结果的输出与确认，如不满足要求须补测或重测；
- 5 根据具体要求进行检测结果记录。

3.1.8 图像检测的结果精度与输入输出格式应根据相关规范要求并参照委托方的要求执行。

4 图像数据采集系统

4.1 一般规定

4.1.1 图像数据采集系统主要由可见光相机、搭载平台、数据传输三部分组成，图像数据采集方式分为人工式和无人式。人工式图像数据采集由人工手持或辅助器材搭载可见光相机，进行数据的采集和传递。无人式图像数据采集宜形成整套系统，实现数据采集与传输的无人化与自动化。

4.1.2 可见光相机应为数码相机，包括专业级相机、消费级相机和智能手机，可根据不同场景选择的不同相机，相机应在宽视场范围下具有较高的分辨率以保证工程结构表面检测精度。

4.1.3 人工式搭载平台包括三角架、拍摄云台等辅助器材。无人式搭载平台可包括无人机、无人车、机器人等无人设备，本规程以无人机为主。

4.1.4 人工式数据传输应严格管控传输的过程，包括数据传递的存储介质、过程的记录、接收数据的确认等。无人式数据传输系统主要将采集的数据通过光纤、电缆等有线方式或4G、5G、蓝牙等无线方式即时传输至计算机视觉平台进行分析，应保障上述传输过程的畅通。

4.1.5 图像数据采集系统采集的数据，应以数字图像的形式储存、传输和转换，具体格式应能被计算机视觉平台进行分析处理。

4.1.6 在图像数据采集系统中应选择可见光相机或搭载平台作为储存数据的设备，其搭载的存储介质容量不宜少于32GB。

4.1.7 可见光相机、搭载平台应进行定期检定或校准并出具有效报告。

4.2 技术要求

4.2.1 可见光相机主要性能指标应满足如下要求：

1 场景比较固定时宜使用定焦镜头，其它场景可根据成像要求合理选用定焦镜头或变焦镜头；

2 相机的有效像素不宜低于 2000 万，当客观条件不允许且采集的数字图像可满足后续处理的要求时，相机的有效像素可适当降低；

3 宜具有防抖功能，或配置具有防抖功能的云台；

4 相机应与相机镜头及其他配件稳固连接；

5 相机镜头应通过耐候要求，同时要具备防磁、防尘及防水功能。

4.2.2 可见光相机应进行相机内参、相机外参和畸变参数的标定。相机标定的步骤应包括：

- 1 打印一张棋盘格，把它贴在一个平面上，作为标定物；
- 2 通过调整标定物或摄像机的方向，为标定物拍摄一些不同方向的照片；
- 3 从照片中提取棋盘格角点；
- 4 估算理想无畸变的情况下，五个内参和六个外参；
- 5 应用最小二乘法估算实际存在径向畸变下的畸变系数；
- 6 应采用极大似然法进行优化估计，提升估计精度。

4.2.3 工程结构表面图像在采集时应考虑拍摄环境、拍摄距离、相机分辨率等拍摄条件，具体应满足如下要求：

1 拍摄环境宜为自然光环境，当光线偏暗或无光环境下，宜在补光环境下进行拍摄，或者等光线满足要求后再拍摄；

2 应根据实际工况选择合适的拍摄距离，拍摄的数字图像应满足用肉眼看到图像中的表面缺陷；

3 在进行拍摄时，相机宜与被测表面保持平行，若现场拍摄条件受限，则相机与被测表面所成的角度不宜过大。

4.2.4 数字图像质量控制应满足如下要求：

1 相机采集的数字图像应纹理清晰，图像中不宜有妨碍检测识别的阴影，色调色彩宜均匀；

2 数字图像数据宜以 TIFF 或其他无损格式储存，若后续数据处理允许，也可采用 PNG 等其他无损压缩格式进行压缩；

3 黑白影像灵敏度不应小于 8bit；彩色影像灵敏度不应小于 12bit；

4 若图像涵盖的范围小于被测表面，宜进行多次图像采集并合成一张包含被测表面的全景图像。

4.2.5 无人机搭载平台的技术应满足《建设工程基于无人机搭载平台检测标准》T/CECS 1080-2022 的规定；

4.3 操作要求

I 采集流程规定

4.3.1 数据采集流程关键环节应包括人员、环境、通信、作业安全、数据准备、路线规划、作业准备、现场作业、作业完成后及其他。

II 人员资质规定

4.3.2 作业人员应具备1年及以上相关工作经验，掌握有关等专业知识，其中无人设备操控人员应具备的相应的上岗证明。

4.3.3 现场作业人员应携带系统的操作手册、简单故障排查和维修手册、应急预案等文件。

4.3.4 现场作业人员之间应保持联络通畅。

III 作业准备

4.3.5 作业现场应远离爆破、射击、烟雾、火焰、军事管辖、无线电干扰等区域。

4.3.6 应根据作业项目和任务要求，制定合适的检测方案和实施计划。

4.3.7 应提前检查存储卡、电池、可见光相机以及搭载平台设备等的健康状态，应提前检查并确认搭载平台设备以及支持作业的导航、基站、通信、动力和避障等系统处于正常状态。

4.3.8 在测量过程中应尽可能的避免因照相机运动、坐标转换、硬件限制、环境因素等所导致的测量误差。

5 计算机视觉检测模型

5.1 一般规定

5.1.1 本规程所述的计算机视觉检测模型，主要指连接在图像采集系统之后，对输入的图像进行处理的模型，主要由图像预处理、机器学习模型与后处理模块组成，具体操作流程如下：

- 1 图像预处理模块对输入图像做一些必要的处理，确保图像数据满足机器学习模型的输入要求；
- 2 通过机器学习模型对预处理的图像数据进行推断分析，输出最终的检测结果或用于检测结果计算的中间特征；
- 3 当输出为中间特征时，需基于中间特征计算检测结果。

5.1.2 机器学习模型的建立应包括图像数据集的构建、机器学习模型的训练和测试。

5.2 图像预处理

5.2.1 图像预处理的方法可包括格式转换、色彩调整、裁剪与缩放、图像降噪与增强、畸变矫正等。

5.2.2 进行图像预处理前，应对图像进行清洗，去除或修正图像数据集中的错误、冗余、低质量样本，以提升数据质量、保障机器学习模型训练的有效性，当图像质量和数量等不满足要求时应重新采集图像数据。。

5.3 数据集的构建

I 数据标注

5.3.1 经过图像预处理的数字图像数据，应根据具体检测目标的类别进行数据标注，用于机器学习模型的训练、验证与测试。主要流程应包括标注前期准备、标注任务执行、标注结果输出三个阶段，应符合下列规定：

- 1 在标注前期准备阶段，应确定标注任务，包括标注内容和标注环境；
- 2 在标注任务执行阶段，应遵循标注流程的过程控制，完成标注任务的创建、分发和开展，并

保证标注任务的质量；

3 在标注结果输出阶段，应对标注后的数据进行质检，合格后可将标注后的数据进行交付。

5.3.2 数据标注前，应对待标注数据进行分析，主要包括：

1 数据集规模：不同任务对数据集样本量的需求不同，经验上建议每种类别宜至少有数百张至数千张图像样本；

2 数据集多样性：数据分布应具有足够的多样性，以涵盖不同的场景和情况；

3 数据集均衡性：理想的数据分布应该是平衡的，即每个类别的样本数量应大致相等。

5.3.3 数据标注方应根据标注任务难度、数据处理规模及数据属性特征、数据安全控制层级与方式，合理选择标注工具，完成数据标注任务。

5.3.4 数据标注方开展标注任务应符合下列规定：

1 数据标注方应安排数据标注人员对分配到的任务进行标注；

2 数据标注方应建立标注过程反馈机制，将与标注要求不符、标注要求中未涵盖的数据等情况及时反馈，确保标注规则与数据的匹配度；

3 数据标注方应保障数据标注流程合法合规，并对数据标注结果进行分级，提高数据安全等级。

5.3.5 在标注过程中，应采用多种检查方法对标注任务质量进行检测；在标注任务完成后，数据标注方应根据数据标注任务检查标注数据的格式、内容、数量和质量进行合理性和正确性核验，确保其满足标注要求，且所有标注任务均已完成。

5.3.6 根据项目特性，质量检查方法可采用包括逐条检查、按比例抽查、抽样检验、机器验证和第三方验证等方式，应根据场景需求及项目特点进行选择。

5.3.7 数据交付时，数据标注方应对最终提交的数据内容进行说明。交付的内容包括标注结果、标注信息读取方式、标注规范和原始数据。

II 数据集划分

5.3.8 将标注后的图像数据集宜按照7：2：1的比例随机分为训练集、验证集和测试集三部分。

5.3.9 宜通过多种数据增广方法对训练集进行多样性和数量的扩充，以提高模型的泛化能力。

5.4 机器学习模型的构建

I 模型的设计与选型

- 5.4.1 工程结构表面检测宜使用有监督机器学习模型。
- 5.4.2 工程结构表面视觉检测所使用的机器学习模型主要包含分类、目标检测和图像分割三类任务，分类。
- 5.4.3 对于边缘计算设备处理（如无人机载端）应选择轻量化模型，服务器端处理可使用高性能模型。
- 5.4.4 工程结构表面视觉检测所使用的机器学习模型主要包含分类、目标检测和图像分割三类任务。

II 机器学习模型训练

- 5.4.4 模型训练的流程应包括模型训练环境的软硬件配置、模型训练超参数的选择、模型评估与模型调优。
- 5.4.5 模型训练环境的硬件配置可参考下列要求：
 - 1 宜使用英伟达GPU进行模型训练的计算，推荐使用多个显卡以实现并行处理，加速训练过程，显存推荐8GB及以上；
 - 2 宜选择高性能、多核心的CPU，如Intel的Xeon系列或AMD的EPYC系列，核心数建议8核及以上；
 - 3 存储硬盘宜不少于2TB，用于存储大量数据；
 - 4 内存宜采用DDR4或更高版本，且宜不少于32GB。
- 5.4.6 模型训练环境的主要软件配置可参考下列要求：
 - 1 选择模型的学习框架，如Pytorch、Tensorflow、PaddlePaddle等；
 - 2 选择模型学习框架所适配的Linux与Windows等操作系统；
 - 3 安装编程语言库（如Python、C++等）及其相关计算库（如NumPy、Pandas、Matplotlib、OpenCV等）。
- 5.4.7 模型训练超参数应包含学习率、批量大小、训练轮次等。
- 5.4.8 应通过对比验证集与训练集的测试结果，判断出模型存在的过拟合、欠拟合等问题，具体判别准则可按下列方法进行：

1 训练集的准确率非常高（接近100%），而验证集的准确率显著较低，表明模型可能存在过拟合；如果训练集和验证集的准确率都较低，表明模型可能存在欠拟合；

2 训练损失随着迭代次数迅速下降，而验证损失在开始下降后又开始上升，表明模型可能存在过拟合；训练损失和验证损失都居高不下，且随着迭代次数的增加没有明显的下降趋势，表明模型可能存在欠拟合。

5.4.9 训练过程中若发现过拟合、欠拟合等问题，可按如下策略进行调整：

- 1 对于过拟合，可进行训练早停等策略，保留验证集最佳准确率下的模型参数；
- 2 对于欠拟合，可尝试增加模型复杂度、增加训练数据量等方法。

5.5 机器学习模型测试

5.5.1 机器学习模型测试时的环境应与模型训练环境保持一致。

5.5.2 机器学习模型测试评价的主要指标应包括功能有效性、性能、推断时间、兼容性、可维护性，以及训练数据集的质量、对应用场景数据的鲁棒性、对测试数据集的要求等。在实施测评过程中，应根据系统的质量目标选取相应指标。

5.5.3 机器学习模型的功能有效性应通过实际的应用场景选择相关的测评指标，用于测评视觉模型实现的功能是否满足要求。根据视觉模型的不同，功能有效性测评应包括但不限于以下内容：

1 图像分类任务的测评指标：混淆矩阵、准确率、精度、召回率、真负率、错误接受率、错误拒绝率、F1 测度、多分类指标、ROC 曲线、AUC；

2 目标检测任务的测评指标：交并比、平均精度均值；

3 图像分割任务的测评指标：像素准确率、平均像素准确率、平均交并比、频率加权交并比。

5.5.4 机器学习模型的性能应通过实际的应用场景选择相关的测评指标，用于评估视觉模型的性能是否满足要求，应包括但不限于：模型推断时间、模型运行占用的系统资源、模型的算力需求、模型的存储需求、模型压缩性能、模型业务吞吐量。

5.5.5 机器学习模型的兼容性测评指标应包括：模型对不同图像格式的兼容性、模型对不同分辨率的兼容性、模型对操作系统的兼容性、模型对其他软件的兼容性。

5.5.6 机器学习模型的可维护性主要测评指标应包括：模型的迭代更新频率、模型迭代的质量变化、模型的可恢复性、模型的配置监控。

5.5.7 机器学习模型的可移植性主要测评指标应包括：模型对硬件设备的可移植性、模型对人工智

能框架的可移植性。

5.5.8 对应用场景数据的鲁棒性测评指标应包括：干扰数据对系统的影响、数据集分布对模型的影响、业务不相关数据对模型的影响。

5.5.9 对测试数据集的要求应包括但不限于：测试数据集标注质量、测试数据集的多样性、测试数据集与训练数据集的互斥性、测试数据集的干扰样本。

5.5.10 开展测试活动，应根据视觉模型测评运行需要的软硬件参数，构建出软硬件环境用于测试。如无法构建出相同的测试环境，应进一步分析由于测试环境与使用环境不同导致对测试结果的影响。在构建的测试环境下，应将测试数据集依次输入被测模型，并按照被测模型的使用方法开展测试活动。

5.5.11 完成测试后，应根据选择的测评指标和制定的系统质量目标，对测试结果进行统计、汇总和分析，其中对于需要计算的指标应根据公式计算，综合评估视觉模型是否符合质量目标。

5.6 计算机视觉检测模型的认证

5.6.1 工程结构表面视觉模型应在标准实体模型测试完成且得到满足要求的测试结果后，通过专家评审或权威机构认定的形式进行认证，必要时还应增加上级主管部门的批准。未经有效性认证的视觉模型不应用于实际检测任务。

5.6.2 标准实体模型测试应由主管部门委托专业学协会组织，组织部门应根据待测试的目标类型制作一组已预留缺陷或损伤结果的标准实体模型，每组实体模型数量应为 3~5 个。模型测试方应采用图像采集装置对标准实体模型进行拍摄，每个缺陷或损伤应拍摄 3 张图像，将拍摄的图像集输入视觉模型进行分析识别，将识别结果与已知真值进行比对，满足该类目标准确率要求即被认为通过标准实体模型测试。

5.6.3 专家评审环节应由主管部门委托专业学协会组织，可由计算机人工智能专业的专家和工程结构检测专业的专家组成，专家总人数不应少于 5 人，其中计算机人工智能专业的专家不应少于 3 人，且应包含组长。专家的技术职称应为正高级且专业对口，若具备博士学位可放宽至副高级。

5.6.4 权威机构认定环节应由主管部门委托专业学协会组织，权威机构主要包括各级有影响力的计算机人工智能专业领域的学协会、各类拥有高水平计算机人工智能专业的高校对口学院或研

究机构相关院所。认定形式宜包括专项会议、技术测试等。

5.7 计算机视觉检测模型的部署

5.7.1 模型部署应依据工程结构检测项目需求，结合模型特性，明确部署方式、部署规模及性能指标，形成详细的部署方案。

5.7.2 模型应进行格式转换，使其适配目标部署环境。同时，准备模型部署所需的配置文件，包括模型参数配置、输入输出格式规范、运行参数设置等，确保模型部署后能正常运行。

5.7.3 模型运行期间宜建立推理结果质量监控机制，定期对推理结果进行评估，并根据评估结果优化现有模型。

5.7.4 对检测结果进行解析和展示，可采用可视化标注、生成检测报告等方式，便于检测人员理解和使用。

6 工程施工质量验收外观检测

6.1 一般规定

6.1.1 计算机视觉法可用于以下工程施工验收中外观质量指标检测：钢结构的焊缝缺陷、螺栓连接缺陷、原材料与成品缺陷、金属涂层外观缺陷、混凝土结构外观缺陷、钢筋安装外观缺陷、工程施工结构其他外观缺陷。

6.1.2 外观缺陷图像的获取除应满足规程第4章的要求外，还应符合以下规定：

- 1 图像中如裂缝等缺陷纹理与边缘应清晰可辨；
- 2 使用长焦镜头进行远距离拍摄，或进行大场景缺陷检测时，宜采用图像拼接或三维场景重建以扩大连续检测场景范围，并实现损伤定位。

6.2 焊缝外观质量检测

6.2.1 计算机视觉法可检测焊缝外观质量内容包括焊缝表面的裂纹、未焊满、根部收缩、咬边、电弧擦伤、接头不良、表面气孔、表面夹渣等。

6.2.2 采集焊缝图像时，焊缝区域宜占据相机视野的主要部分，以提高焊缝缺陷特征的显著性，若单张图像无法覆盖整条焊缝区域，宜通过图像拼接合成包含整条焊缝的图像，若整条焊缝图像过长，可截取多张图像分别进行检测。

6.2.3 焊缝缺陷检测前，宜先使用目标检测模型提取焊缝感兴趣区域。

6.2.4 使用目标检测模型检测第6.2.1条所述的各类缺陷，并统计各类缺陷数量。

6.3 螺栓连接外观质量检测

6.3.1 计算机视觉法可检测螺栓连接外观质量内容包括螺栓漏装与明显未拧紧。

6.3.2 采集螺栓图像时，应通过调整拍摄视角以避免螺栓之间在视角上的遮挡，确保可以观察到每个螺母或螺柱头与构件的连接区域，以及螺栓未安装区域。

6.3.3 通过目标检测模型检测螺栓未安装与明显未拧紧缺陷，并统计各类缺陷数量。

6.4 钢结构原材料与成品外观质量检测

6.4.1 计算机视觉法可检测钢结构用主要材料、零(部)件、成品件、标准件等产品外观质量检测，

具体检测指标包括现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205-2020中第4章《原材料及成品验收》规定的外观质量检测内容。

6.4.2 采集各类产品图像时，检测目标宜占据相机视场的主要部分，以提高缺陷特征的显著性，如钢板、模结构等面积较大的制品，可分多次拍摄多张局部高清图像分别进行检测。

6.4.3 通过目标检测模型检测产品各类缺陷，并统计各类缺陷数量。

6.5 钢筋安装质量检测

6.5.1 钢筋安装的质量视觉检测内容包括钢筋的数量、直径、间距，应符合下列规定：

- 1 使用 RGBD 深度相机采集工地钢筋区域的 RGB 和深度数据；
- 2 将 RGB 图像数据输入到已训练的钢筋实例分割模型，输出钢筋区域的实例分割掩码图像；
- 3 通过统计钢筋实例分割对象的总数作为钢筋数量；
- 4 基于钢筋图像分割掩码图像提取钢筋中轴线，在钢筋中轴线等间距采样若干初始点，在每个初始点位置做一条中轴线的垂线，并得到垂线与钢筋掩码图像边缘的 2 个交点，使用 2 个交点在深度图像对应的坐标计算钢筋直径，并分别统计出间距的最大值、最小值与均值；
- 5 基于钢筋掩码图像提取钢筋边缘线，在钢筋边缘线等间距采样若干初始点，在每个初始点位置做一条边缘线的垂线，并得到垂线与相邻钢筋掩码图像边缘线的 1 个交点，使用初始点与交点在深度图像对应的坐标计算钢筋间距，并分别统计出间距的最大值、最小值与均值。

6.6 金属涂层外观质量检测

6.6.1 计算机视觉法可检测金属新涂装涂层的皱皮、流坠、针眼、气泡、气孔、母材裸露等外观缺陷，具体检测内容包括现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205-2020中第13章《涂装工层》规定的可观察检测的缺陷内容。

6.6.2 采集涂层图像时，涂层所属母材宜占据相机视野的主要部分，以提高缺陷特征的显著性，如钢板等面积较大的制品，可分多次拍摄多张局部高清图像分别进行检测。

6.6.3 通过目标检测模型检测涂层各类缺陷，并统计各类缺陷数量。

6.7 混凝土结构外观质量检测

6.7.1 计算机视觉法可检测混凝土结构外观的露筋、蜂窝、孔洞、夹渣、疏松、裂缝、缺棱掉角、

掉皮等外观缺陷，具体检测内容包括现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015中第8章《现浇结构分项工程》规定的现浇结构外观质量缺陷。

6.7.2 通过目标检测模型检测混凝土结构各类缺陷，并统计各类缺陷数量。

7 既有工程结构外观缺陷检测

7.1 一般规定

7.1.1 计算机视觉法可用于以下既有工程结构外观质量指标检测：各类工程结构的表观裂缝、螺栓连接缺陷、玻璃幕墙损伤、金属结构涂层、混凝土结构外观缺陷、其他既有工程结构表观缺陷、其他可通过数字图像处理与像素距离计算的指标。

7.1.2 外观缺陷图像的获取除应满足规程第4章与6.1.2条的要求外，如需计算如裂缝宽度等缺陷尺寸参数，则缺陷区域像素点数量应满足相关尺寸计算要求，且图像宜垂直于缺陷结构或构件表面、正视角拍摄，倾斜拍摄时，应经过几何变形修正。

7.1.3 计算机视觉法可检测金属结构外观涂层起泡、开裂、剥落与锈蚀等缺陷，检测方法按照本规程6.7.2条与6.7.3条的规定执行。

7.1.4 计算机视觉法可检测混凝土结构外观裂缝、渗水、锈胀与剥落等缺陷，其中裂缝检测方法按照本规程7.2节规定执行，其他缺陷检测方法按照本规程6.7节规定执行。

7.2 裂缝检测

7.2.1 裂缝检测的图像数据处理应包括裂缝提取、裂缝宽度与长度计算、裂缝分布与结果表达。

I 裂缝提取

7.2.2 裂缝提取应包括图像中裂缝的提取及背景区域的排除。

7.2.3 图像中裂缝的提取是指使用语义分割模型并结合二值化、形态学操作等数字图像处理方法，得到裂缝的掩码图像，掩码图像中裂缝与背景区域像素分别为白色和黑色。

7.2.4 由于裂缝区域要远小于背景区域，裂缝语义分割模型的训练宜使用平衡交叉熵损失函数，通过函数的权重因子改善裂缝与背景区域数据不均衡问题导致的损失值被占多数的背景区域数据主导的问题。

7.2.5 裂缝提取宜利用裂缝狭长形态特点、裂缝的分布位置与分布态，对裂缝掩码图像进行后处理，以筛除误提取的裂缝区域。

7.2.6 当裂缝图像较大时，可将图像进行切分成单元图像输入到语义分割模型进行裂缝提取，

再将模型输出的裂缝掩码图像拼接成完整的裂缝掩码图像；

II 裂缝宽度计算

7.2.7 裂缝宽度宜同时计算最大值、最小值和平均值。

7.2.8 裂缝裂缝宽度最大值与最小值计算可使用正交中轴线法或边缘线最小距离法。

7.2.9 基于正交中轴线法的裂缝宽度应通过以下方法计算：

- 1 应对每条裂缝提取两条边缘线与一条中轴线；
- 2 计算裂缝上中轴线上待求宽度的某点的法向量；
- 3 在法向量方向直线与两条边缘线的交点之间的距离即为该点的裂缝宽度。

7.2.10 基于边缘线最小距离法的裂缝宽度应通过以下方法计算：

- 1 过裂缝上中轴线上待求宽度的某点作任意直线与2条边缘线相交；
- 2 所有直线产生的2个交点的最小距离即为该点的裂缝宽度。

7.2.11 局部平均裂缝宽度应通过某段裂缝闭合面积除以该段裂缝中轴线长度计算。

III 裂缝长度计算

7.2.12 裂缝长度定义应为裂缝骨架线长度。

7.2.13 裂缝长度宜通过骨架线的像素点数量求和计算。

7.2.14 对于多条相交裂缝的连续裂缝，裂缝长度宜取主裂缝长度。

IV 裂缝参数表达

7.2.15 裂缝分布与形态的检测结果应在原始照片、二维效果图或三维模型中真实、准确地表达，应标记裂缝的位置、形状、走向、间距等信息。

7.2.16 裂缝宽度的检测结果宜在原始照片、二维效果图或三维模型中采用不同的颜色或灰度表达，并配置色彩或灰度与裂缝宽度的对照表。

7.2.17 展示裂缝分布的工程结构图像应包含主要的结构信息与完整的裂缝信息，大场景裂缝检测宜通过图像拼接或结合三维模型整幅、立体地记录裂缝。

7.2.18 裂缝的宽度、长度、分布参数应使用成像模型或场景中绝对尺寸进行像素单位与标准长

度单位的换算，表达为标准长度单位信息。

V 精度要求

7.2.19 数字图像法裂缝识别的最小可测裂缝宽度不宜大于0.1mm，且应符合国家现行标准要求。

7.2.20 裂缝宽度计算的相对精度不宜大于20%，使用无人机平台拍摄裂缝图像时相对精度不宜大于40%。

7.3 螺栓连接缺陷检测

7.3.1 计算机视觉法可检测在役螺栓的缺失、明显松动和微小松动缺陷，螺栓的缺失检测方法与本规程6.3节规定螺栓漏装检测方法相同，螺栓明显松动与本规程6.3节规定螺栓明显未拧紧方法相同，螺栓微小松动检测指通过监测六角螺栓的螺母或螺柱头是否发生旋转进行判定。

7.3.2 螺栓微小松动检测的应通过以下步骤进行判定：

1 采集螺栓节点图像宜垂直于缺陷结构或构件表面、正视角拍摄，倾斜拍摄时，应经过几何变形修正；

2 使用目标检测模型提取螺栓感兴趣区域图像；

3 对螺栓感兴趣区域图像进行边缘提取，并通过边缘点拟合出螺栓轮廓边缘直线；

4 通过公式 $\alpha = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{mod} \left(\frac{\theta_i + 90^\circ}{60^\circ} \right)$ 计算螺栓角度 α ，式中 θ 为螺栓轮廓直线角度， k 为检测到的边缘直线数量， i 为边缘直线编号， $\text{mod}(\cdot)$ 为取余操作， $\alpha \in [0, 60^\circ]$ 。

5 将前后两次检测的螺栓角度之差的绝对值 β 作为螺栓的旋转角度，设定螺栓松动判别阈值 T ，当 $\beta \geq T$ 时，则判断螺栓发生了松动， T 建议不大于 3.2° 。

7.4 玻璃幕墙外观缺陷检测

7.4.1 计算机视觉法可检测玻璃幕墙面板自爆、热炸裂与外力冲击等原因所造成的损伤。

7.4.2 宜使用无人机对建筑的每侧外立面扫描式采集幕墙的局部高清图像。

7.4.3 宜通过边缘直线检测等方式提取单元玻璃面板，已排除边框或胶体等无关背景干扰。

7.4.4 宜将玻璃面板图像切分成若干单元图像，并通过分类模型判断单元图像是否存在损伤。

8 结果记录

8.0.1 计算机视觉法检测的结果记录宜包含下列内容：

- 1** 工程（项目）概况；
- 2** 检测目的、内容、范围及依据；
- 3** 成像设备及其参数；
- 4** 计算机视觉法检测结果；
- 5** 必要的数据处理过程。

本标准用词说明

- 1 为了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，非这样做不可的用词：
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用词：
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，在条件许可时首先应这样做的用词：
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用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建设工程基于无人机搭载平台检测标准》 T/CECS 1080-2022

中国钢结构协会团体标准

计算机视觉法检测工程结构表面缺陷技术规程

SJG XXX - 202X

条文说明

制 定 说 明

本标准编制过程中，编制组通过广泛的调查研究，总结了我市计算机视觉法检测工程结构的实践经验，同时借鉴了国内、国际的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

为便于广大勘察、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	28
3	基本规定	29
3.1	一般规定	29
4	图像数据采集系统	30
4.1	一般规定	30
4.2	技术要求	30
4.3	操作要求	31
5	计算机视觉检测模型	32
5.1	一般规定	32
5.2	图像预处理.....	32
5.3	数据集的构建.....	32
5.4	机器学习模型的构建.....	33
5.5	机器学习模型测试.....	33
5.6	计算机视觉检测模型的认证.....	34
6	工程施工质量验收外观检测	35
6.1	一般规定	35
6.2	焊缝外观质量检测	35
6.3	螺栓连接外观质量检测	35
6.4	钢结构原材料与成品外观质量检测.....	35
7	既有工程结构外观缺陷检测	36
7.1	一般规定	36
7.2	裂缝检测	36
7.3	螺栓连接缺陷检测	36
7.4	玻璃幕墙外观缺陷检测	36

1 总 则

1.0.1 面对我国建筑工程规模快速增长与既有结构老化并存的双重挑战，结构维护的工作量与复杂度增大，既有结构的检测鉴定与长期监测成为工程结构领域的重要工作。当前传统结构表观缺陷人工检测方法存在效率低、主观性强、高空作业风险高等问题，亟需通过智能化技术提升检测精度与安全性。计算机视觉技术因其非接触、高效率、可量化、与人工智能技术衔接良好等优势，在工程结构检测领域呈现出越来越广泛的应用前景。

目前，基于可见光图像的计算机视觉法已成功应用于结构表面各类肉眼可见缺陷的检测，应用效果良好，一方面推动传统工程检测技术的应用创新，另一方面引领基础方法与应用技术的科研创新。因此，为规范工程计算机视觉法检测技术的应用，做到技术先进、数据可靠、安全适用、经济合理，本规程围绕总则、术语和符号、基本规定、图像数据采集系统、计算机视觉检测模型进行描述，检测内容包含工程施工质量验收外观检测以及既有工程结构外观缺陷检测。

针对工程结构检测场景复杂性高、目标特征易受环境干扰的挑战，本规程要求计算机视觉检测模型需具备强鲁棒性以保障特征信息的精准提取。通过集成机器学习技术，使计算机从代表性数据中自动学习并进行预测或决策，使检测模型具备自适应、自动化和泛化能力。因此，本规程中所描述计算机视觉检测模型、工程施工质量验收外观检测以及既有工程结构外观缺陷检测的具体方法，主要基于机器学习模型进行构建，以提高实际工程检测结果的准确性。

1.0.2 本规程适用于新建工程表观质量与既有工程结构表观缺陷的计算机视觉法检测，具体检测领域包括房建、道路、桥梁、隧道等，其它类型的结构可参照执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.2 优先采用数字图像法检测的情况包括：检测人员难以抵近或难以接触，例如既有桥梁损伤检测中使用桥检车进行高空作业的情况、工作状态的冶金厂房热风炉、钢烟囱表面损伤检测等高温、有毒气体作业环境等；如裂缝最大宽度与长度等缺陷参数难以使用传统方法准确计算时。

3.1.5 尽管计算机视觉法的检测精度较高，但一般难以实现 100%准确，应对检测结果进行核对与确认。

3.1.7 当检测效果不满足要求时，应对重复执行（1）～（4）步骤，并对其中的某步骤或多步骤问题进行优化。

3.1.8 对于常见检测项目（如焊缝缺陷检测、裂缝宽度检测等），明确具体精度量化指标，增强标准的可操作性。

4 图像数据采集系统

4.1 一般规定

4.1.1 人工与无人数据采集方式的选取由实际的工程检测条件确定，如大尺度结构的检测与监测宜以无人式为主，构件出厂质量检测宜以人工方式为主。

4.1.2 图像采集系统依赖于采集到的图像，图像的采集靠相机实现，因此相机是整个系统中最核心的部件之一。智能手机的相机系统已非常成熟，拍照质量在很多场景下并不逊色于多数数码相机，因此纳入到可见光相机的选择范畴。在具体选择上，人工式图像采集宜采用消费级相机或智能手机，在对图像质量要求比较高的情况下可采用专业级相机；无人式图像采集宜以专业级相机为主。鉴于涉及到后续的数据传输，因此排除传统的胶片式相机。相机的分辨率可根据实际的检测场景和对象确定，对裂缝检测等精度要求比较高的场景。

4.1.3 本规程之所以选择无人机作为主要的无人式搭载平台，是因为无人机在建设工程检测领域的相关技术标准体系已比较完善，比如《建设工程基于无人机搭载平台检测标准》（T/CECS 1080-2022）等，可以用来指导基于无人机的工程检测，若未来其他无人设备也具备了在建设工程检测领域的标准体系，或具备等同效力的证明文件，也可纳入本规程无人搭载平台的主要设备。

4.1.4 人工式数据传输是由人工的方式将数据传输至计算机视觉平台进行分析，因此要保障传输过程的准确性。无人式数据传输系统可以是一个独立的软件系统，也可以和计算机视觉平台共同形成一个软件系统。关于计算机视觉平台的内容详见第五章。

4.1.6 图像数据采集系统必须具备存储数字图像的功能，目前市面上的产品中存储介质有放置在可见光相机中的，也有放置在搭载平台中的，两者有一个具备存储功能即可。考虑到现有可见光相机像素以及拍摄出的图片大小越来越大，存储必须具备一定的容量。

4.1.7 根据相关行业标准《检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求》针对仪器设备的相关规定，对检验检测结果、抽样结果的准确性或有效性有影响的设备，在投入使用前，应采用检查、检定或校准等方式，以确认其满足检验检测的要求。

4.2 技术要求

4.2.1 镜头与相机配套使用，将相机采集到的图像聚焦在相机的成像平面上以获得清晰的图像，根

据不同的应用需要选择不同的镜头达到相应的效果，因此，镜头的视场、焦距、光圈等都会影响其应用。除以上几个主要参数外，还需要考虑景深的影响。景深是指摄像机镜头在聚焦完成后，焦点范围内能够呈现清晰图像的前后距离。景深与镜头使用的光圈、镜头焦距、对焦距离、弥散圆直径等相关。其与光圈大小、焦距长短成反比，即光圈越大、焦距越长，景深越小。

4.2.2 相机校准标定是利用特殊校准模式的图像估算相机参数以获得缩放因子的过程。这些参数包括相机内参（内参矩阵）、畸变参数和相机外参（旋转矩阵和平移向量）。获得相机参数后，就可根据图像坐标重建任意图像点的世界坐标。相机的畸变和内参是相机本身的固有特性，标定一次即可一直使用。

4.2.4 数字图像质量控制要求参考了《数字图像处理》冈萨雷斯，条文中的规定为一般要求，在实际的工程结构表面图像采集中，可在测试阶段由多组工作人员在不同季节、不同视角下采集，可包括晴天、雨天、低光照、高光照、新建筑、老建筑等不同工况，得到的测试数据集宜包含多组不同角度光照对比度，具备不同程度的亮度、缺陷尺寸、缺陷类别和物体阴影建筑表面图像，从而选出合适的工程结构表面数字图像，以及合适的测试环境与工况。

4.3 操作要求

4.3.8 对于基于计算机视觉的图像采集与识别，无法完全消除由各种来源造成的测量误差。测量误差来源有校准程序、光学畸变效应、视场的非线性、光学元件、系统分辨率、摄像机之间的数据同步、光照强度、非均匀空气折射等。

5 计算机视觉检测模型

5.1 一般规定

5.1.1 机器学习模型可直接输出最终的检测结果，也可以输出缺陷或构件的位置与轮廓等中间特征，然后根据中间特征进一步计算缺陷或构件的指标参数。机器学习模型的构建是计算机视觉模型的核心内容，可以鲁棒性地输出检测结果或中间结果，本章节总结了建立计算机视觉模型的一般过程，具体技术内容根据具体的检测任务在后续章节进行针对性展开。

5.2 图像预处理

5.2.1 图像预处理的目的是主要包括两个方面，一是消除干扰信息与增强有效特征，如采用直方图均衡化、对比度调整等技术，扩大特征区域的亮度差异，提升目标边缘、纹理等关键信息的辨识度，修复因设备或环境导致的曝光异常、模糊等问题，还原图像的真实语义内容等；二是数据标准化与模型适配，如调整图像尺寸（如裁剪、填充）以匹配模型输入要求，避免因分辨率差异导致的训练错误等。

5.3 图像数据集的构建

5.3.1 具体的数据标注过程主要涉及数据需求方、标注管理方及数据标注方三方人员，若标注后的数据符合预期，则数据标注完成；否则进行后期维护环节，数据标注方应对数据进行修正，并重启内部质检流程。

5.3.2 数据集若缺乏多样性，模型可能会过拟合到训练数据上的特定模式，而无法泛化到更广泛的情况；数据集均衡有助于模型对每个类别都给予足够的关注，从而避免对多数类别的过度拟合和对少数类别的忽视，如果数据分布不平衡，可能会导致模型在预测少数类别时表现不佳；

5.3.5 对不满足标注任务要求的，及时预警反馈，并查明问题原因。对未能及时完成的标注任务，要建立适当的沟通、回收和再发放的管理机制，以确保标注任务按期完成，保证任务进度。根据项目特性，标注任务质量可通过机器验证、埋题验证或标注人员状态验证等检查方法进行验证。

5.3.6 标注数据质量检查能够确保数据标注结果有价值，符合数据需求方的特定应用目的。逐条检查适用于项目量级不大、人力资源充沛、时间节点不紧张、对标注数据结果的准确率要求极高的标注项

目；按比例抽查方式中样本量的选择应符合统计学基本原理，足以代表全部标注数据；抽样检验可分为简单抽样、系统抽样和分层抽样三种方式；机器验证方法输出的准确率不能完全代表数据集的准确率，但能在一定程度上反映数据集的质量；第三方验证应由有资质的第三方邀请有资质和从业经验的专家进行验证，从而确保标注结果的质量。

5.3.9 常用的数据增广方法是根据已有样本和预设的变换规则进行样本的扩充，可包括：水平翻转、垂直翻转、水平-垂直翻转、随机裁剪、随机旋转、颜色抖动、失焦模糊和添加噪声等，或者按照一定的原则利用多个样本合成新的样本。

5.4 机器学习模型的构建

5.4.1 机器学习分类主要为：有监督学习(Supervised learning)和无监督学习(Unsupervised learning)，还有一种结合全监督学习和无监督学习的中间类别，称之为半监督学习(Semi-supervised Learning)，区别在于输入数据是否有标签(label)，输入数据有完整和准确的标签，是有监督学习，没有任何标签是无监督学习，训练数据有一部分有标签的数据，也有一部分没有标签的数据，是半监督学习。有监督学习模型是目前技术最成熟、准确性最高的模型类别。

5.4.2 分类、目标检测和图像分割三类任务体现了检测任务的三个不同层次，分类任务用于识别图像中是否存在缺陷或构件；目标检测任务不仅能够给出缺陷或构件类型，还可以给出缺陷或构件在图像中的位置，采用边界框标出；图像分割任务是对组成缺陷或构件的每个像素进行分类，可详细表达出轮廓与形状信息，如测量锈蚀面积与裂缝宽度则需要根据缺陷像素数量进行换算。

5.5 机器学习模型测试

5.5.7 可移植性测评指标：

1 模型对硬件设备的可移植性：评估视觉模型是否拥有跨硬件架构的移植能力，即模型是否支持在基于至少 2 种架构处理器的设备上运行，且运行性能保持一致，如 X86、X86-64、ARM、MIPS 等。

2 模型对人工智能框架的可移植性：评估视觉模型是否拥有跨人工智能框架之间的移植能力，即是否支持在至少2 种人工智能框架之间相互转换，且运行性能保持一致，如Tensorflow、PyTorch、PaddlePaddle 等。

5.5.8 应用场景数据的鲁棒性测评指标：

1 干扰数据对系统的影响：评估异常的输入数据对模型功能有效性的影响，包括模糊的图像或视频、部分遮挡的图像或视频、光照不足或过强的图像或视频、有噪声的图像或视频；结合实际场景，考虑天气和气候变化下，不同场景中的干扰数据，如雨雾，雪霜，风沙，粉尘等影响视觉能见度的场景。

2 数据集分布对模型的影响：统计真实环境下输入数据集的正负例分布或各类别样本分布，评估不同数据集分布情况下模型的功能有效性。

3 业务不相关数据对模型的影响：当输入数据并非模型业务相关数据（比如不属于分类模型中任何一类的数据），评估模型能否对其作合适的处理（比如识别为“其他”类）。

5.5.9 测试数据集测评指标：

1 测试数据集标注质量：数据集标注信息应准确、完备并符合要求。

2 测试数据集的多样性：测试数据集应体现真实应用场景，类别覆盖全面，且应包括不同光照条件、不同分辨率、不同角度等情形的样本。

3 测试数据集与训练数据集的互斥性：测试数据集中不应包含训练数据集中的数据。

4 测试数据集的干扰样本：数据集中宜包含已知干扰样本、对抗性样本或业务不相关样本等异常样本。

5.6 计算机视觉检测模型的认证

5.6.1 检测是一项专业性很强的技术工作，计算机视觉模型作为开展检测的工具，鉴于当前并没有针对模型有效性的认证标准，因此必须进行有效性认证。是否增加上级主管部门的批准，主要由被检测目标的重要性确定，如果某类目标严重影响结构安全，或已造成重大安全事故或损失，涉及责任划分，在使用视觉模型进行检测时，应由主管部门批准。

5.6.4 此处有影响力的计算机人工智能专业领域的学协会指可独立进行人工智能专业技术职称评审的学协会；有高水平计算机人工智能专业的高校对口学院或研究机构相关院所指拥有教育部公布的计算机类专业世界一流学科或软科计算机类专业排名前十的高校或科研院所。

6 工程施工质量验收外观检测

6.1 一般规定

6.1.2 使用长焦镜头进行远距离拍摄时，相机视角变小、单次拍摄的场景较小；对混凝土构筑物、桥梁、隧道、大坝、路面等工程结构进行大场景缺陷检测，单次拍摄的场景相比于检测范围很小。对于上述 2 种情况，采用图像拼接或三维场景重建，可扩大图像的场景范围，有利于损伤定位。

6.2 焊缝外观质量检测

6.2.3 焊缝感兴趣区域为图像中几乎只包含焊缝的矩形区域，旨在排除非焊缝区域，以减小后续缺陷检测的误检率。

6.3 螺栓连接外观质量检测

6.3.1 螺栓漏装指整个螺栓连接副未安装或螺母未安装，螺栓明显未拧紧指螺母或螺杆头部与连接构件存在肉眼可见的缝隙。

6.4 钢结构原材料与成品外观质量检测

6.4.1 根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205-2020 规定，钢结构用主要材料、零(部)件、成品件、标准件等产品应进行进场验收，其中，可使用计算机视觉法检测的外观指标包括：钢板、管材、型材、铸钢件、拉索、拉杆、锚具、连接用紧固件、球形节点、压型金属板、膜结构用膜材等。

7 既有工程结构外观缺陷检测

7.1 一般规定

7.1.1 计算机视觉法可以检测结构服役过程中产生的损伤以外,还可以对混裂缝等缺陷关键参数进行监测。

7.2 裂缝检测

7.2.5 当麻面、蜂窝、孔洞、露筋等其它混凝土表面损伤以及表面锈蚀等钢结构表面损伤区域被误判为裂缝区域时,宜利用裂缝狭长形态特点筛除上述误判区域;当构件棱角、混凝土禅缝、线缆等成像后狭长的物体被误判为裂缝区域时,宜利用裂缝的分布位置与分布形态筛除上述误判区域。

7.3 螺栓连接缺陷检测

7.3.1 螺栓微小松动的检测一般需要周期性对螺栓图像进行采集,并通过六角螺栓边缘直线等几何角度的变化量进行判断。

7.3.2 由于六角螺栓为正六边形,因此,此方法只能识别 60° 以内的松动缺陷,尽管如此,螺栓松动是一个缓慢的过程,当检测周期合理,大概率可成功捕捉到微小的松动缺陷。螺栓松动判别阈值 T 越小,松动检测性能越好,参考文献(Huynh T C .Vision-based autonomous bolt-looseness detection method for splice connections: Design, lab-scale evaluation, and field application[J].Automation in construction, 2021(Apr.):124.)统计的螺栓旋转角计算误差基本遵循正态分布,标准差 $\sigma = 1.08^{\circ}$,当 T 设置为3倍标准差时,松动识别准确率可达99.7%。

7.4 玻璃幕墙外观缺陷检测

7.4.4 由于玻璃面板整体损伤的图像难以大量获取,难以建立有效的深度学习分类模型,因此,本规程不推荐直接使用分类算法对整个玻璃面板应用分类模型进行损伤判别。而玻璃碎裂的局部图像可以通过图像重叠式切分的方式大量获取,可以建立有效的局部损伤分类模型。