



T/CECS XXXX-20XX

中国工程建设标准化协会标准

建设工程机器视觉变形测量标准

Standard for Construction Engineering Machine Vision

Deformation Measurement

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

建设工程机器视觉变形测量标准

Standard for Construction Engineering Machine Vision Deformation
Measurement

T/CECS XXXX-20XX

主编单位： 联检（江苏）科技股份有限公司
批准单位： 中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会
实施时间： 2 0 X X 年 X 月 X 日

中国计划出版社

20xx 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2023]10 号）的要求，标准编制组经广泛调研，认真总结经验，参考国内外有关标准，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 8 章 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、图像获取、图像处理、测量精度、数据整理与质量检查等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由联检（江苏）科技股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至联检（江苏）科技股份有限公司（地址：江苏省常州市木梳路 10 号，邮政编码：213000）。

主编单位：联检（江苏）科技股份有限公司

同济大学

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则	1
2 术语	3
3 基本规定	5
3.1 一般规定	5
3.2 测量程序	6
4 图像获取	9
4.1 一般规定	9
4.2 图像获取系统	10
4.3 图像获取系统安装调试	12
5 图像处理	15
5.1 一般规定	15
5.2 图像预处理	15
5.3 图像识别	17
6 测量精度	20
6.1 一般规定	20
6.2 精度要求	22
7 数据整理与数据质量检查	25
7.1 一般规定	25
7.2 数据存储与管理	26
7.3 数据质量检查	27
附录 A 标定系数的计算公式	28
附录 B 特征点检测算法	29
用词说明	30
引用标准名录	31

Contents

1 General Principles	1
2 Terminology	3
3 Basic Provisions	5
3.1 General Provisions	5
3.2 Measurement Procedures	6
4 Image Acquisition	9
4.1 General Provisions	9
4.2 Image Acquisition System	10
4.3 Installation and Commissioning of Image Acquisition System	12
5 Image Processing	15
5.1 General Provisions	15
5.2 Image Preprocessing	15
5.3 Image Recognition	17
6 Measurement Accuracy	20
6.1 General Provisions	20
6.2 Accuracy Requirements	22
7 Data Organization and Data Quality Check	25
7.1 General Provisions	25
7.2 Data Storage and Management	26
7.3 Data Quality Check	27
Appendix A: Calculation Formula for Calibration Coefficient	28
Appendix B: Feature Point Detection Algorithm	29
Explanation of Terms Used in Standard	30
List of Referenced Standards	31

1 总则

1.0.1 为了规范机器视觉变形测量，做到成果可靠、技术先进、经济合理、安全实用，制定本标准。

【条文说明】

机器视觉变形测量技术是一种利用光学成像，结合数字图像分析处理算法等方式获取结构物表面变形的非接触式测量技术。近年来机器视觉变形测量技术已在国内外得到大力发展，建立了变焦成像、亚像素算法、红外靶标全天候识别、无靶标识别、数字图像相关法、实时监测技术等技术体系，适用范围涵盖了桥梁结构、高层建筑物、水工结构物、历史建筑等场景。

机器视觉变形测量技术结合物联网传输可实现实时监测，有效缓解了既有传统人工变形测量效率无法满足当前管理需求的矛盾；机器视觉变形测量技术可利用变焦距镜头自动调整焦距适应不同距离目标的清晰成像，可适应监测距离变化范围大的场景使用；结合亚像素级算法可实现长期非接触式测量精度至0.1mm级；此外，机器视觉变形测量技术与传统自动化变形监测方式相比，无需大量的传感器，也不需复杂的布置安装，实施成本降低30%~50%，工期缩短的1/4~1/3，具有显著的经济与社会效益。

随着城市生命线、城市更新等政策的发布，各类工程结构和基础设施的维护保养的颗粒度要求逐步细化，工程变形监测需求将进一步被释放，市场前景十分广阔。

利用机器视觉进行变形测量是综合处理过程，其精度和稳定性与图像获取、图像处理、数据处理和分析等多种因素相关，准确规定和明确这些过程要求可

有效保证结构变形测量的安全、精度与效率，对结构变形测量具有重要指导意义。

为适应当前形势所需，本条规定了针对建筑、桥梁、水利工程、地下工程等建设工程使用机器视觉变形测量进行结构变形的检测和测量所应遵循的技术经济政策和达到的目的要求。

1.0.2 本标准适用于建筑、桥梁、水利工程、地下工程等建设工程项目中采用机器视觉变形测量进行结构变形的检测和测量。

【条文说明】

本条明确了标准的适用范围。本标准对建筑、桥梁、水利工程、地下工程等建设工程的结构变形的检测和测量相关技术内容进行了规定。

1.0.3 建设工程机器视觉变形测量除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准和中国工程建设标准化协会现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 机器视觉 Machine Vision

采用计算机模拟人的视觉功能，从客观事物的图像中提取信息，进行处理并加以理解，最终用于实际检测、测量和控制。

2.0.2 图像采集设备 Image Capture Device

用于获取实物或场景图像信息的工具和系统。通常用于捕捉和记录目标对象的外观特征等，主要包括相机、摄像机、扫描仪和视频编码设备等。

2.0.3 数字图像 Digital Image

由数字成像设备或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。

2.0.4 图像预处理 Image Preprocessing

在应用图像处理算法之前或之后，对输入或输出图像进行预处理操作，以改善图像质量、增强图像特征、降低噪声等目的的处理方式。

2.0.5 特征提取 Feature Extraction

从预处理后的图像中提取出有用的信息，如边缘、角点、纹理等，用于后续的变形测量分析和识别。

2.0.6 变形 Deformation

建（构）筑物在荷载作用下产生的形状或位置变化的现象。变形可分为沉降和位移两大类。沉降指竖向的变形，包括下沉和上升；而位移为除沉降外其他变形的统称，包括水平位移、倾斜、挠度、裂缝、收敛变形等。

2.0.7 变形测量 Deformation Measurement

对建（构）筑物及其地基在一定范围内的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝等形状或位置变化进行观测，并对观测结果进行处理、表达和分析的工作。。

2.0.8 变形允许值 Allowable Deformation Value

为保证建（构）筑物正常使用而确定的变形控制值。

2.0.9 监测点 Monitoring Point

布设在建（构）筑物场地、地基、基础、上部结构或周边环境的敏感位置上能反映其变形特征的测量点。根据变形测量的类型，监测点可分为沉降监测点和位移监测点。

2.0.10 标定系数 Calibration Coefficient

将图像像素位移换算成实际物理位移的比例系数。

2.0.11 数字图像相关法 Digital Image Correlation (DIC)

按一定的搜索方法，通过处理变形前后被测结果表面的数字图像直接获得位移或变形信息的一种数字图像处理技术。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 机器视觉变形测量可用于建设工程结构的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝等的检测和测量。

【条文说明】

本条明确标准适用的变形参数，应综合考虑监测项及要求。

3.1.2 下列情况下可采用机器视觉变形测量：

- 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 其他检测方式难以实施时；
- 4 其他适用机器视觉变形测量的场景。

【条文说明】

本条明确了推荐采用机器视觉变形测量情况。

3.1.3 对于重要的建设工程结构，宜在施工阶段和运营阶段采用机器视觉变形测量实施连续的长期监测。

【条文说明】

本条强调了对重要建设工程结构在施工及运营阶段采用机器视觉变形测量技术实施长期连续监测，旨在通过先进技术手段实时掌控结构安全状态，预防潜在风险，保障工程全生命周期安全。

3.2 测量程序

3.2.1 建设工程机器视觉变形测量，应综合考虑建设工程的项目特点、建设工程设计方案、建设场地状况等因素，编制合理的技术方案，精心组织和实施。

【条文说明】

本条要求建设工程在采用机器视觉变形测量技术时，需结合项目自身特点、设计方案及场地实际条件，制定科学合理的技术方案并规范实施。其核心在于通过系统化、定制化的监测设计，确保技术手段与工程需求精准匹配，避免因方案脱离实际导致监测失效或资源浪费，从而保障监测数据的有效性和可靠性。

3.2.2 机器视觉变形测量宜按图 3.2.2 规定的程序进行。

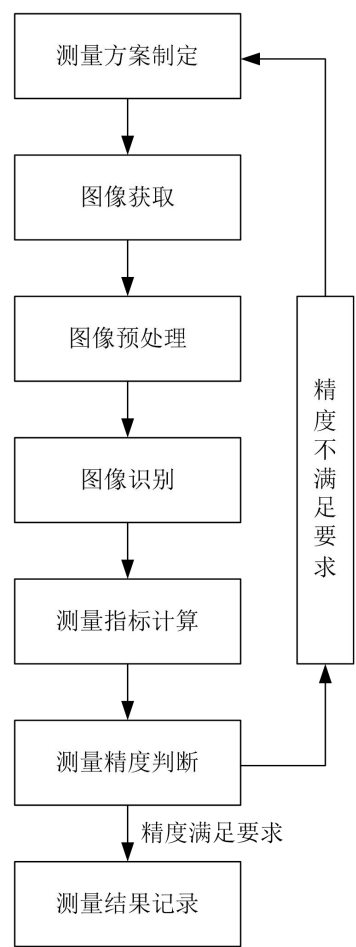


图 3.2.2 机器视觉变形测量程序

3.2.3 测点布置完成后应对图像传感器、靶标设备、导线和电缆等采取适当保护措施，并开展初始测试，发现问题应立即处理。

【条文说明】

本条旨在确保测点布置完成后，相关的传感器、监测设备、导线和电缆等关键组件得到有效保护，以维持其正常功能和延长使用寿命。

主要包含以下几个方面的要求和考虑：

(1) 保护方式的适当性：要求对传感器、监测设备、导线和电缆等采取适当的方式进行保护，确保能有效防止损害。

(2) 即时处理问题：保护过程中，一旦发现问题，应立即采取措施进行处理。

(3) 全面性与细致性：在监测时不仅应关注传感器和监测设备本身，还应导线、电缆等各种连接部件进行检查。

3.2.4 机器视觉变形测量设备应符合下列规定：

1 应满足对监测精度、采集频率、传输效率、处理速度的最低要求，并在开工前进行组网试运行；

2 应能进行数据异常情况下的自动预警或故障显示；

3 应采用防雷、防水、防尘、抗震设计，并能够抵抗使用过程中的高温、挤压等不利环境影响；

4 应配备应急电源供电，实现 24h 不间断实时监测，采用移动电源供电的，支持工作时间不宜低于 24h，并应备有多块移动电源轮换供电。

【条文说明】

本条详细列出了机器视觉变形测量设备在建设工程变形测量中的具体要求，以确保监测数据的准确性、及时性和设备的稳定性。机器视觉变形测量设备必须满足对监测精度、采集频率、传输效率和处理速度的最低要求，这是确保监测数据质量的基础，在开启监测前，应进行组网试运行，以验证设备的性能、稳定性和数据传输的准确性，确保设备在实际施工中能够正常运行；设备应具备数据异常情况下的自动预警或故障显示功能，以便在监测数据出现异常或设备发生故障时，能够立即通知相关人员进行处理，防止因数据错误或设备故障导致的监测失效；考虑到施工现场环境的复杂性，机器视觉变形测量设备应采用防雷、防水、防尘、抗震设计，以增强设备的环境适应能力，确保其在各种恶劣条件下仍能稳定工作；此外对于设备电源的配置应能确保监测数据的连续性和完整性；施工现场如果无法完全避免干扰，应采取相应措施减少不利影响，如合理安排作业时间、优化设备布局、采用快速安装拆卸技术等，从而确保监测工作与施工活动的顺利进行。

4 图像获取

4.1 一般规定

4.1.1 图像获取系统应由图像采集设备和靶标组成，图像采集设备由相机、镜头、数据采集及处理模块、控制程序以及数据传输模块等组成。

4.1.2 图像获取系统应根据被测对象的结构类型、测点位置、环境条件、监测距离及精度要求等因素合理配置。

【条文说明】

本条款规定图像获取系统的配置需综合考虑被测对象的结构特征、测点分布、环境约束、监测距离及精度目标等核心因素，旨在通过科学选型与布设方案，确保机器视觉系统能够稳定、高效地捕获高质量图像数据，为后续变形分析提供可靠基础。

4.1.3 除本标准规定的监测方法或设备之外，也可采用能达到本标准规定的精度和技术要求的其他方法或设备。

【条文说明】

技术总是在不断进步，新的、可能更加高效或精确的检测方法和设备也在不断涌现。因此，本标准在强调规定方法或设备的同时，也允许采用其他能够达到同样精度和技术要求的方法或设备。这样的规定既保证了标准的科学性和严谨性，又兼顾了技术的多样性和创新性。

4.2 图像获取系统

4.2.1 相机应符合以下规定：

- 1 宜为工业相机，其分辨率和帧率应满足测量精度及动态响应要求；
- 2 相机感光元件的分辨率不宜低于 1920 像素×1080 像素；
- 3 相机感光元件在波长 850nm 或 940nm 下的量子效率宜不低于 50%；
- 4 相机的像素位深不应低于 8bit，彩色图像饱和度等级不应低于 10 级；
- 5 相机成像应反差适中、色调一致、纹理清楚、层次丰富，不失真、无偏色；
- 6 相机的快门宜选择全局曝光的电子快门或机械快门，快门速度应满足动态测试的要求。

【条文说明】

工业相机因其高稳定性、抗干扰能力强、适应恶劣环境等优点，能够在强电磁干扰、温湿度变化较大的环境中长时间连续工作。

利用机器视觉技术测量工程结构变形，应保证足够高的采样率以提高变形测量精度。足够高的采样率可以保证位移测量数据的完整性；当采样率过低时，可能会出现混叠现象，高频成分被错误地识别为低频信号，从而导致位移测量出现严重误差，使测量结果失去可靠性。

分辨率不低于 1920 像素×1080 像素的规定为常见监测场景提供了适用基线，而在波长 850nm 或 940nm 下量子效率高于 50%的要求则专注于低光环境或夜间监测条件下的成像性能。这些规定确保了相机在自然光不足、红外辅助光源应用场景下的良好工作状态。

4.2.2 镜头应符合以下要求：

1 镜头宜为量测型镜头，若采用非量测型镜头，镜头应满足失真小、可标定、成像清晰等要求；

2 采用非量测型镜头时，应标定图像采集设备的基本参数，包括主点像素坐标、焦距、镜头畸变系数，标定质量宜按现行国家标准《近景摄影测量规范》GB/T 12979、《工程摄影测量规范》GB 50167 的有关规定执行；

3 镜头靶面尺寸不应低于相机感光元件的尺寸；

4 镜头的分辨率不应低于相机感光元件的物理分辨率；

5 镜头宜为定焦镜头，镜头焦距应根据检测距离、精度要求、感光元件像元尺寸以及亚像素细分数确定，宜略大于计算焦距数值的规格；

6 宜选用 8mm、16mm、25mm、50mm、100mm、200mm 等标准焦距的镜头；

7 调整镜头光圈时应保证图像灰度适中，避免图像过曝或过暗。

4.2.3 数据采集及处理模块应符合以下规定：

1 宜为嵌入式工业控制计算机或板卡，具备边缘计算能力；

2 应具有本地存储能力，能够缓存不少于 30 天的原始图像及数据，原始图像宜采用无压缩格式存储。

4.2.4 数据传输模块应符合以下规定：

1 数据传输系统宜配备多种通讯接口，包括以太网或 Wi-Fi、4G 或 5G、RS485 等；

2 数据传输系统与服务器断开连接后，应能自动尝试重新连接，同时数据

本地缓存；

3 数据传输系统与服务器重新连接后，应优先将缓存数据发送至服务器。

4.2.5 靶标应符合以下规定：

1 有源靶标应采用波长为 850nm 或 940nm 的红外 LED 灯；

2 无源靶标应采用波长为 850nm 或 940nm 的红外补光灯进行照明。

【条文说明】

波长为 850nm 或 940nm 的红外 LED 灯具有低光干扰、高环境适应性等优点，可在夜间或弱光环境中提供稳定的光学特征信号。除此之外，红外 LED 灯还具有节能、高效、寿命长等特点，适合长时间连续工作，满足监测系统的可靠性需求。

4.2.6 图像获取系统的工作环境适应性应符合以下规定：

1 环境温度：-40℃至+65℃；

2 环境相对湿度：≤95%RH；

3 防水防尘等级：不低于 IP65。

4.3 图像获取系统安装调试

4.3.1 图像采集设备安装应符合以下规定：

1 应安装在视野无遮挡、光线稳定的区域，避免直射光、反射光、雨、雪等环境因素的干扰；

2 应安装在相对稳固的位置，如安装位置有稳固的结构物，可直接安装在结构物上，如无稳固的结构物，则需要浇筑基础并埋设立杆进行安装；

3 图像采集设备的安装角度宜垂直于被测结构平面，若现场安装条件无法

满足时，图像采集设备光路方向与被测结构平面法线方向的夹角应小于 40° ，以减少图像畸变；

4 若使用多相机系统，应考虑各相机的相对位置和重叠度，以便进行精确的三维重建；各相机之间的间距应合理选择，以最大化覆盖监测区域并减少盲区。

【条文说明】

对于多相机系统，通过优化相机布局，可实现监测区域的全覆盖，并最大程度减少盲区。同时，合理重叠度设置便于后期的三维重建，提高空间测量的精确度。

4.3.2 靶标安装应符合以下规定：

1 靶标应稳固地安装在设计的测点位置，靶标基座与被测物之间应保证无相对位移；

2 靶标与图像采集设备应保持通视，中间无遮挡；

3 靶标成像后光斑应清晰可见，光斑面积不应低于 $41 \text{ 像素} \times 41 \text{ 像素}$ ；

4 当一台图像采集设备同时监测多个靶标时，靶标光斑之间的间距宜大于 41 像素 ；

5 长期进行监测时，应设置基准参考点和安装基准点靶标，基准参考点应设置在远离被测结构的稳固结构或浇筑基础上。

4.3.3 图像获取系统安装完毕后应进行标定系数的计算，标定系数的计算应符合以下规定：

1 可根据靶标与图像采集设备间距离、镜头焦距、相机感光元件像元尺寸、

主点像素坐标以及测点像素坐标直接计算标定系数，标定系数计算按附录 A 公式计算；

2 获取靶标与图像采集设备间距离时，100m 内可采用手持式激光测距仪测量，100m 外宜采用激光测距望远镜测量；

3 当被测结构或靶标靶面上某部分长度已知时，也可通过其实际长度除以像素长度获得标定系数；

4 图像获取系统标定系数计算完成后应定期确认精度，可通过 ISO12233 视觉分辨率标准测试卡进行检校，标准测试卡宜布置在距成像设备 $10\text{m} \pm 2\text{m}$ 距离，视觉分辨率应大于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

5 图像处理

5.1 一般规定

5.1.1 图像处理应包含图像预处理及图像识别等流程。

5.1.2 图像经图像处理后应得到靶标实际物理位移结果。。

5.2 图像预处理

5.2.1 图像预处理宜包括图像去噪、图像增强、畸变校正等。

5.2.2 图像去噪应符合以下规定：

1 当图像中出现与靶标检测无关的异常像素或像素簇，影响图像质量或干扰目标检测时，宜通过滤波（如均值滤波、高斯滤波、中值滤波等）等方式，减少图像中的随机噪声，增强图像中边缘和纹理等重要特征；

2 滤波器大小应根据图像的噪声强度和分辨率等因素配置，宜为 3 像素×3 像素至 15 像素×15 像素；

3 图像经去噪处理后信噪比不应低于 30dB，峰值信噪比应保持在 25dB 以上，且图像细节损失不应超过 5%。

【条文说明】

图像去噪旨在降低随机噪声以提升图像质量，其滤波器的选择应根据噪声类型和图像特性综合考量。均值滤波适用于平滑整体噪声，高斯滤波适用于处理随机噪声，而中值滤波对消除椒盐噪声效果显著。滤波器大小应结合噪声强度、图像分辨率及检测目标配置，过小可能导致去噪效果不足，过大会削弱图像细节。噪比不低于 30 dB 和峰值信噪比保持在 25 dB 以上确保了去噪后图像

质量达到工程测量要求，在去噪和细节保留之间实现较好的平衡。

5.2.3 图像增强应符合以下规定：

1 图像增强宜包括灰度变换、边缘增强等；

2 图像灰度变换应通过调整图像灰度以改善图像对比度或亮度，修正由于光照不均、局部欠曝或过曝以及阴影干扰等因素引起的亮暗不均问题，保证图像亮度均衡、色彩平滑、视觉一致；

3 边缘增强应突出检测目标的轮廓和细节特征，边缘增强滤波器权重系数宜选择-2 到 1 之间，卷积核尺寸大小宜为 3 像素×3 像素到 9 像素×9 像素。

【条文说明】

灰度变换适用于图像对比度较低或亮度分布不均的情况，可通过直方图均衡化优化灰度分布，或采用伽马校正和动态范围调整技术修正光照不均、局部过曝或欠曝等问题，确保图像亮度均衡、色彩过渡平滑和视觉效果一致。边缘增强适用于目标轮廓模糊或细节信息不清的场景，可采用拉普拉斯算子、高通滤波等方法强化图像边缘和纹理特征。滤波器权重系数及卷积核尺寸应根据图像分辨率和目标特征灵活选择，一般范围为-2 至 1 的权重系数和 3 像素×3 像素至 9 像素×9 像素的卷积核可以确保增强效果与细节保留的平衡，避免伪影产生或噪声放大。

5.2.4 图像畸变校正应符合以下规定：

1 图像畸变校正宜包括几何校正、光学畸变校正等；

2 图像几何校正应将图像中靶标的比例与形态校准至符合真实靶标的几何比例；

3 光学畸变校正宜根据镜头的畸变类型选择合适的校正模型，镜头的畸变偏差应控制在不超过 0.02 像素的范围内，重投影误差宜小于 0.1 像素。

【条文说明】

图像畸变校正旨在消除因图像采集设备或拍摄环境引起的几何形变，确保图像准确反映靶标的真实比例与形态。几何校正适用于因拍摄角度或相机位置偏移导致的比例失真或形态偏斜，可通过透视变换等方法恢复靶标的真实几何比例。光学畸变校正主要针对镜头特性引起的畸变现象，应根据具体畸变类型选择校正模型。径向畸变模型适用于桶形和枕形畸变，鱼眼畸变模型适用于超广角或鱼眼镜头引起的显著弯曲畸变。镜头畸变偏差应控制在不超过 0.02 像素、重投影误差不大于 0.1 像素，以确保校正精度，最大程度还原图像真实性并避免畸变对后续分析的干扰。

5.2.5 预处理后的图像应符合下列要求：

- 1 预处理后的图像应真实地反映实际材质的图案、质感及颜色，不影响后续对靶标及特征点的检测和识别；
- 2 预处理后的图像应准确反映靶标的细节、纹理及边缘特征；
- 3 预处理后的图像应具备几何一致性，靶标的形状、角度和比例与实物一致；
- 4 预处理后的图像像素偏移不应大于 0.5 像素，图像主点位移不应大于 0.1 像素。

5.3 图像识别

5.3.1 图像识别宜按图 5.3.1 规定的流程进行。

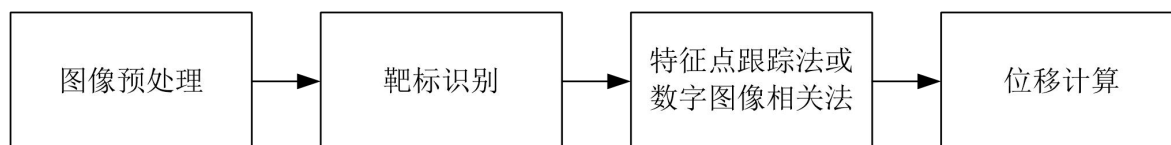


图 5.3.1 图像识别流程

5.3.2 靶标识别应符合以下规定：

- 1 宜采用模板匹配、模式识别以及深度学习等算法；
- 2 特征提取应能够有效捕捉靶标的关键特征，并精确区分靶标与背景信息；
- 3 靶标识别的准确率不宜低于 99%。

【条文说明】

靶标识别可根据具体需求和场景选择适宜的算法。模板匹配通过将已知模板与在目标图像上进行滑动搜索，定位匹配区域，适用于背景简单且靶标特征显著的场景；模式识别基于统计特征分析和分类器（如支持向量机或随机森林），通过提取靶标的形态特征进行分类，适用于背景复杂且靶标特征具有可量化性的场景；深度学习利用卷积神经网络（CNN）等模型，通过大规模标注数据的训练自动提取高维特征，完成靶标的精确识别和分类，适用于靶标特征复杂多变或对识别精度要求极高的场景。

5.3.3 特征点跟踪法应符合以下规定：

- 1 宜根据实际应用场景、运算速率以及识别精度要求选择适宜的特征点检测算法，特征点检测算法选择参考附录 B；
- 2 宜使用亚像素定位技术进一步提高特征点像素坐标的定位精度，定位精度宜不超过 0.01 像素。

5.3.4 数字图像相关法应符合以下规定：

- 1 图像散斑质量应满足测量要求；
- 2 图像子区大小宜在 31 像素×31 像素至 81 像素×81 像素；
- 3 亚像素定位算法可采用灰度梯度法、IC-GN 算法等。

5.3.5 位移计算过程应符合以下规定：

- 1 应通过前后图像中相同特征点的像素坐标作差，以获得像素位移；
- 2 对于具备多个特征点的图像，宜采用平均滤波以计算平均像素位移；
- 3 实际位移应为标定系数（通过标定板测量获得）乘以像素位移或平均像素位移。

6 测量精度

6.1 一般规定

6.1.1 建筑结构、桥梁结构与地下工程的变形测量等级划分与精度要求应符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 建筑结构、桥梁结构与地下工程变形测量等级划分与精度要求

等级	垂直位移测量 中误差	水平位移测量 中误差	适用范围
一等	0.3	1.5	变形特别敏感的高层建筑、高耸构筑物、工业建筑、重要古建筑、大型坝体、精密工程设施、特大型桥梁、大型直立岩体、大型坝区地壳变形测量等
二等	0.5	3.0	变形比较敏感的高层建筑、高耸构筑物、工业建筑、古建筑特大型和大型桥梁、大中型坝体、直立岩体、高边坡、重要工程设施、重大地下工程、危害性较大的滑坡测量等
三等	1.0	6.0	一般性的高层建筑、多层建筑、工业建筑、高耸构筑物、直立岩体、高边坡、深基坑、一般地下工程、危害性一般的滑坡测量、大型桥梁等
四等	2.0	12.0	观测精度要求较低的建（构）筑屋、普通滑坡测量、中小型桥梁等

注：位移测量中误差是相对于高精度传感器的中误差。

6.1.2 水工结构测量精度要求应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 水工结构测量精度要求

项目				测量中误差
水平位移 (mm)	坝体	重力坝、支墩坝		1.0
		拱坝	径向	2.0
			切向	1.0
	坝基	重力坝、支墩坝		0.3
		拱坝	径向	1.0
			切向	0.5
垂直位移 (mm)				1.0
挠度 (mm)				0.3
倾斜 (")		坝体		5.0
		坝基		1.0
坝体表面接缝、裂缝 (mm)				0.2

注：测量中误差是相对于高精度传感器的中误差。

【条文说明】

(1) 视觉识别的观测误差是以激光位移计、红外光学追踪系统等高精度传感器的测量结果作为参照得出的误差。因此相对于高精度传感器的中误差作为视觉识别的测量中误差。

(2) 变形监测的精度等级，是根据我国变形监测的经验，并参考国外标准有关变形监测的内容确定的，按变形观测点的水平位移点位中误差、垂直位移的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差的大小来划分的。

(3) 本标准将变形监测分为 4 个等级，一等适用于高精度变形监测项目，二、三等适用于中等精度变形监测项目，四等适用于低精度的变形监测项目。综合设计和我国相关施工标准已确定的变形允许值的 1/20 作为变形监测的精度指标值，即相应指标中误差。

(4) 重大地下工程是指开挖面较大、地质条件复杂和环境变形敏感的地下工程，其他则为一般地下工程。

6.2 精度要求

6.2.1 建筑结构变形测量的精度要求应符合以下规定：

- 1 基坑变形测量的精度要求不得低于三等；
- 2 建筑结构变形测量的精度要求应该符合表 6.1.1 的规定。

【条文说明】

通常将基坑开挖深度的 4‰ 作为基坑顶部侧向位移的施工监测预警值。监测精度通常采用二、三等。危险性较大的基坑工程依照《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》(中华人民共和国住房和城乡建设部令第 37 号，2018 年 3 月 8 日)划分。

6.2.2 桥梁结构变形测量的精度要求应符合以下规定：

- 1 应该根据桥梁的类型、结构、用途等因素综合确定，特大型桥梁的测量精度不宜低于二等，大型桥梁不宜低于三等，中小型桥梁可采用四等；
- 2 桥梁结构变形测量精度的等级划分应该符合表 6.1.1 的规定。

6.2.3 地下工程变形测量的精度要求应符合以下规定：

- 1 地下工程变形测量的精度要求应根据工程的实际需要和设计要求确定，

精度的等级划分应该符合表 6.1.1 的规定；

2 重要地下建（构）筑物的结构变形和地基基础变形宜采用二等精度，一般的结构变形和基础变形可采用三等精度；

3 重要的隧道结构、基础变形可采用三等精度，一般的结构、基础变形可采用四等精度；

4 受影响的地面建（构）筑物的变形测量精度应符合本标准表 2 的规定，地表沉陷和地下管线变形的测量精度不宜低于三等。

【条文说明】

地下建(构)筑物和隧道的结构、基础变形，与埋设深度、开挖跨度、围岩类别、支护类型、施工方法等因素有关。由于水土压力的变化，势必要对地面的建(构)筑物及地下的管线设施造成影响。本条对相关的监测项目分别给出了不同的监测精度要求。

（1）地下建(构)筑物的监测精度，通常较地面同类建(构)筑物提高一个监测精度等级。

（2）隧道监测精度，主要是根据铁路、公路隧道设计和施工标准中初期支护相对位移允许值，并结合隧道工程变形监测的特点综合确定的。

（3）受影响的地面建(构)筑物的变形监测精度，是根据该建(构)筑物的重要性和变形的敏感性来确定的。

（4）重要地下建(构)筑物是指国家重点或相当于国家重点建设工程项目的地下建设工程，其余划分为一般的地下建设工程监测项目。重要的隧道通常指高铁隧道、公路隧道、城市地铁隧道等，区域划分为一般隧道。

6.2.4 水工结构变形测量的精度要求应符合以下规定：

- 1 混凝土水坝的测量精度要求应符合表 6.1.2 的规定。
- 2 中小型混凝土水坝的水平位移测量精度不宜超过表 3 中测量中误差的 2 倍，土石坝的水平位移测量精度不宜超过表 3 中测量中误差的 4 倍。
- 3 中小型水坝的垂直位移测量精度，小型混凝土水坝不应超过 2mm,中型土石坝不应超过 3mm,小型土石坝不应超过 5mm。

【条文说明】

混凝土水坝变形监测的精度要求，是根据现行行业标准《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178 综合制定的。

7 数据整理与数据质量检查

7.1 一般规定

7.1.1 机器视觉变形测量结果记录宜包含下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 测量目的、内容、范围及依据；
- 3 成像设备及其参数；
- 4 数字图像技术名称及参数选择；
- 5 数字图像法检测结果；
- 6 必要的数据处理过程；
- 7 附件（可包含数字图像原始数据）。

7.1.2 应定期进行成果整理，成果整理应符合下列规定：

- 1 观测记录内容应真实完整，采用电子方式记录的数据，应完整存储在可靠的介质上；
- 2 数据处理、成果图表及检验分析资料应完整、清晰；
- 3 图式符号应规格统一、注记清楚；
- 4 观测记录、计算资料和技术成果均应有相关责任人签字，技术成果应加盖技术成果章；
- 5 观测记录、计算资料和技术成果应进行归档。

7.2 数据存储与管理

7.2.1 变形测量的观测记录、计算资料及成果的管理和分析宜采用变形测量数据处理与信息管理系统进行，该系统应具备下列功能：

- 1 应能接收各期变形测量的观测数据，并对数据格式进行转换；
- 2 应能进行各期观测数据的检核和处理；
- 3 应能进行基准点、工作基点及测量点标识信息管理；
- 4 应能进行基准点网的平差计算和稳定性分析；
- 5 应能对观测数据、计算数据、成果数据建立相应的数据库；
- 6 应能对测量点进行变形分析；
- 7 应能生成变形测量成果图表；
- 8 宜能进行变形测量数据建模和预报；
- 9 宜能进行变形的三维可视化表达；
- 10 应具有用户管理和安全管理功能。

7.2.2 软件平台应对机器视觉变形测量数据进行实时分析，具有梯次实时预警功能。当出现以下情况之一时，应可立即预警：

- 1 监测点累计变形量或变形速率达到监测预警值；
- 2 监测点变形数据异常浮动，其变形差值浮动范围超出上一周期 3 倍以上时；
- 3 现场环境变化或根据经验判别需要预警的情况。

7.2.3 监测结果触发预警后，软件平台应可立即调整监测频率，进行加密监测，并同时立即报送预警信息至相关单位。加密监测的频率不应低于次/10min，直

至手动消除预警恢复正常监测频率。

7.2.4 机器视觉变形监测信息传输、成果提交，预警等宜采用信息化形式实施反馈。预警信息报送、预警处理和响应、消除预警等内容和要求应符合现行相关标准。

7.3 数据质量检查

7.3.1 监测成果资料的采集、预处理、汇总由软件平台自动完成，数据分析和报告审核应由具有岩土工程、工程测量等综合知识和工程实践经验的工程技术人员承担，人员资质应满足现行行业规范要求。

7.3.2 机器视觉变形监测项目应进行人工测量比对校核，比对校核实施应符合以下要求：

- 1 对比校核与验证频率每月不应低于 2 次；
- 2 监测数据出现异常或触发报警时，应立即进行对比验证；
- 3 项目关键建设节点或新技术、新工艺实施前，应当进行对比对比校核；
- 4 其他经评议认为必要时。

7.3.3 采用对比校核的各监测项宜符合以下要求：

- 1 对水平位移宜采用激光测距仪或全站仪进行对比验证；
- 2 竖向位移采用水准仪进行验证；
- 3 现场人员应对图像获取系统状况和现场一致性进行核查。

7.3.4 对比验证的方法、设备及精度要求应满足现行有关标准要求；对比验证的限差可按照人工测量精度 2 倍要求执行。

附录 A 标定系数的计算公式

A.0.1 标定系数的计算应根据具体应用场景选择适当的公式。

1 当拍摄角度较小、主点偏移和视场畸变影响可忽略时，标定系数按下式计算：

$$\delta = \frac{p_s \cdot L}{f} \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中： δ —标定系数（mm/像素）；

p_s —相机像元尺寸（um）；

L —测点至相机的距离（m）；

f —相机焦距（mm）。

2 当视场角较大或主点偏移显著时，需综合考虑视场变形、主点偏移等因素对标定系数的影响，可按下式计算：

$$\delta = \frac{p_s \cdot \left\{ L \cdot \cos \left[\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \cdot \arctan\left(\frac{p_s}{1000 \cdot f}\right) \right] - \frac{f}{1000} \right\}}{f} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： δ —标定系数（mm/像素）；

p_s —相机像元尺寸（um）；

L —测点至相机的距离（m）；

(x, y) ：一测点像素坐标；

(x_0, y_0) ：一主点像素坐标；

f —相机焦距（mm）。

附录 B 特征点检测算法

B.0.1 特征点检测应根据实际应用场景的复杂程度、运算速率要求和识别精度需求选择适当的特征点检测算法，不同特征点类型采用的提取方法应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 不同特征点类型宜采用的提取方法

特征点类型	提取方法
角点	Harris、Good features to track、FAST、oFAST、BRISK
斑点	SIFT、SURF、KAZE
区域特征	MSER

1 Harris、Good features to track、FAST、oFAST：单尺度角点特征检测算法。宜用于点追踪，图像配准，很少或没有比例变化的场景的角点检测，如街道和室内场景。

2 BRISK：多尺度角点特征检测算法。宜用于点追踪，图像配准，处理缩放和旋转的变化，以及如街道和室内的场景中的角点检测。

3 SIFT、SURF：多尺度斑点特征检测算法。宜用于尺度缩放、旋转变化、亮度变化的物体检测和图像配准，能在一定程度上不受视角变化、仿射变换、噪声的干扰。

4 KAZE：多尺度斑点特征检测算法。可降低物体边界的模糊。

5 MSER：多尺度均匀强度区域特征检测算法。宜用于图像配准、文本检测、目标检测、缩放和旋转变化。该特征检测算法仿射变换较之其他检测算法更鲁棒。

B.0.2 在完成特征点检测后，为进一步提升像素坐标的识别精度，可采用亚像素定位技术，常用的方法包括插值法、曲线拟合法和迭代优化法。插值法通过分析周围像素的灰度值估算特征点的亚像素位置；曲线拟合法通过拟合灰度分布曲线确定特征点的精确位置；迭代优化法基于梯度信息或能量函数优化实现特征点的高精度定位。

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，在条件许可时首先应这样做的：

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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《工程摄影测量规范》GB 50167

《近景摄影测量规范》GB/T 12979

《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178