T

中 国 建 筑 学 会 标 准

T/ASC XX -20 XX

智能结构灾害评价技术标准

Technical standards for intelligent disaster assessment of structures

（征求意见稿）

**202X－XX－XX 发布 202X－XX－XX 实施**

**中 国 建 筑 学 会 发布**

中国建筑学会标准

智能结构灾害评价技术标准

Technical standards for intelligent disaster assessment of structures

**T/ASC XX-20XX**

批准单位：中国建筑学会

施行日期：20XX年X月X日

**202X 北 京**

**前 言**

本标准（智能结构灾害评价技术标准）根据中国建筑学会《关于发布<2019年中国建筑学会标准研编计划（第四批）>的通知》（建会标〔2019〕12号）的要求，由哈尔滨工业大学会同有关单位编制完成。

在本标准（智能结构灾害评价技术标准）编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了智能结构灾害评价经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本标准（智能结构灾害评价技术标准）的主要技术内容是：总则，术语和符号，基本规定，建筑（群）灾害智能感知，建筑（群）灾害数据采集、存储和管理、建筑结构振动视觉识别、建筑（群）风灾智能识别与评价、建筑（群）地震灾害智能识别与评价。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国建筑学会标准工作委员会负责管理，由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送哈尔滨工业大学 （地址：哈尔滨市黄河路73号土木工程学院；邮政编码：150090；电子邮箱：XXX）。

本标准主编单位：哈尔滨工业大学

本标准参编单位：XXXX

XXXX

XXXX

本标准主要起草人员：XXXX

本标准主要审查人员：XXXX

**目 次**

[前 言 1](#_Toc71101087)

[1 总 则 6](#_Toc71101088)

[2 术语和符号 7](#_Toc71101089)

[2.1 术 语 7](#_Toc71101090)

[2.2 符 号 7](#_Toc71101091)

[3 一般规定 9](#_Toc71101092)

[4 建筑（群）灾害智能感知技术 10](#_Toc71101093)

[4.1 一般规定 10](#_Toc71101094)

[4.2 建筑（群）灾害感知的无人机监测 10](#_Toc71101095)

[4.3 建筑（群）灾害感知的智能手机监测 11](#_Toc71101096)

[4.4 建筑（群）灾害感知的可穿戴设备监测 12](#_Toc71101097)

[4.5 建筑（群）灾害感知的遥感影像监测 12](#_Toc71101098)

[4.6 建筑（群）灾害感知的激光扫描监测 13](#_Toc71101099)

[4.7 建筑（群）灾害感知的结构健康监测 13](#_Toc71101099)

[4.8 建筑（群）灾害感知的强震观测 13](#_Toc71101099)

[5 建筑（群）灾害数据采集、存储和管理 15](#_Toc71101100)

[5.1 一般规定 15](#_Toc71101101)

[5.2 数据采集 15](#_Toc71101102)

[5.3 数据传输 17](#_Toc71101103)

[5.4 数据管理 18](#_Toc71101104)

[5.5 数据融合与特征挖掘 18](#_Toc71101105)

[6 建筑结构振动视觉识别 20](#_Toc71101106)

[6.1 一般规定 20](#_Toc71101107)

[6.2 建筑结构振动视觉识别 20](#_Toc71101108)

[7 建筑（群）风灾智能识别与评价 22](#_Toc71101109)

[7.1 一般规定 22](#_Toc71101110)

[7.2 基于风灾破坏图像的建筑结构风灾识别与评价 22](#_Toc71101111)

[7.3 基于振动视频的建筑结构风灾识别与评价 23](#_Toc71101112)

[7.4 基于健康监测数据的建筑结构风灾识别与评价 23](#_Toc71101113)

[7.5 建筑（群）风灾破坏识别与评价 24](#_Toc71101114)

[8 建筑（群）地震灾害智能识别与评价 26](#_Toc71101115)

[8.1 一般规定 26](#_Toc71101116)

[8.2 基于震灾破坏图像的建筑结构地震灾害识别与评价 26](#_Toc71101117)

[8.3 基于振动视频的建筑结构地震灾害识别与评价 27](#_Toc71101118)

[8.4 基于健康监测数据的建筑结构地震灾害识别与评价 27](#_Toc71101119)

[8.5 建筑群地震灾害智能识别与评价 29](#_Toc71101120)

[本标准用词说明 31](#_Toc71101121)

[引用标准名录 32](#_Toc71101122)

条文说明……………………………………………………………………………….33

**Contents**

[1 General provisions 6](#_Toc71101088)

[2 Terms and symbols 7](#_Toc71101089)

[2.1 Terms 7](#_Toc71101090)

[2.2 Symbols 7](#_Toc71101091)

[3 General Requirements 9](#_Toc71101092)

[4. Smart Sensing Technology of Building (Group) Disasters 10](#_Toc71101093)

[4.1 General Requirements 10](#_Toc71101094)

[4.2 Unmanned Aerial Vehicle Monitoring for Building (Group) Disaster 10](#_Toc71101095)

[4.3 Smartphone Monitoring for Building (Group) Disaster 11](#_Toc71101096)

[4.4 Wearable Device Monitoring for Building (Group) Disaster 12](#_Toc71101097)

[4.5 Remote Sensing Image Monitoring for Building (Group) Disaster 12](#_Toc71101098)

[4.6 Laser Scanning Monitoring of Building (Group) Disaster 13](#_Toc71101099)

[4.7 Structural Health Monitoring of Building (Group) Disaster 13](#_Toc71101099)

[4.8 Strong Motion Observation of Building (Group) Disaster 13](#_Toc71101099)

[5. Data Acquisition, Storage and Management of Building (Group) Disasters 15](#_Toc71101100)

[5.1 General Requirements 15](#_Toc71101101)

[5.2 Data Acquisition 15](#_Toc71101102)

[5.3 Data Transmission 17](#_Toc71101103)

[5.4 Data Management 18](#_Toc71101104)

[5.5 Data Fusion and Feature Mining 18](#_Toc71101105)

[6 Visual Identity of Building Structure Vibration 20](#_Toc71101106)

[6.1 General Requirements 20](#_Toc71101107)

[6.2 Computer Vision Recognition of Building Structure Vibration 20](#_Toc71101108)

[7 Intelligent Identification and Evaluation of Building (Group) Wind Disaster 22](#_Toc71101109)

[7.1 General Requirements 22](#_Toc71101110)

[7.2 Wind Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Wind Damage Images 22](#_Toc71101111)

[7.3 Wind Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Structural Vibration Videos 23](#_Toc71101112)

[7.4 Wind Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Structural Health Monitoring Data 23](#_Toc71101113)

[7.5 Identification and Evaluation of Wind Damage of Group of Buildings 24](#_Toc71101114)

[8 Intelligent Identification and Evaluation of Building (Group) Earthquake Disaster 26](#_Toc71101115)

[8.1 General Requirements 26](#_Toc71101116)

[8.2 Earthquake Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Earthquake Damage Images 26](#_Toc71101117)

[8.3 Earthquake Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Strucutral Vibration Video 27](#_Toc71101118)

[8.4 Earthquake Disaster Identification and Evaluation of Building Structure based on Strucutral Health Monitoring Data 27](#_Toc71101119)

[8.5 Intelligent Identification and Evaluation of Earthquake Disaster of Group of Buildings 29](#_Toc71101120)

[Explanation for wording in the specification 31](#_Toc71101121)

[Reference Standards 32](#_Toc71101122)

Explanation of provisions...…………………………………………………………….33

# 1 总 则

**1.0.1**为保障建筑结构在风和地震灾害后服役安全和科学养护管理，指导建筑结构采用智能技术进行灾害评价的实施，按照评估快速、高效、准确的原则，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于各类建筑结构的智能灾害评价的实施，桥梁等其他类型结构的智能灾害评价亦可参照使用。

**1.0.3** 智能结构灾害评价可包括建筑（群）灾害智能感知技术、建筑（群）灾害数据采集、存储和管理、建筑结构振动视觉识别、建筑（群）风灾智能识别与评价、建筑（群）地震灾害智能识别与评价。

**1.0.4** 智能结构灾害评价应积极稳妥地应用新技术。

**1.0.5** 智能结构灾害评价的实施除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准和规范的规定。

**2 术语和符号**

**2.1 术 语**

**2.1.1**智能感知 Smart sensing

利用分布式的无人机、智能手机、可穿戴设备、遥感图像、激光扫描等，实现感知数据收集利用，完成大规模的、复杂的建筑结构灾害感知任务。

**2.1.2**可穿戴设备 Wearable devices

一种可以安装在人、动物和物品上，并能感知、传递和处理结构灾害信息的便携式设备，包括硬件设备和软件支持两个部分，其中传感器是其核心器件。

**2.1.3** 强震动台网 Strong motion observation network

若干固定台站或专用台阵以及台网中心组成的强震动观测系统。

**2.1.4**视觉特征点 Vision feature point

图像中某些区域存在的可以被检测到特征的点。

**2.1.5** 大数据分析 Big data analysis

采用机器学习、深度学习、计算机视觉等技术对大量的建筑结构灾害破坏和损伤数据进行分析和挖掘。

**2.1.6** 智能灾害评价 Intelligent disaster assessment

利用人工智能和计算机技术，基于智能感知大数据，识别结构的灾害破坏特征，进行建筑结构（群）灾害的识别、定位，以及灾害破坏等级评价和区域灾后评估。

**2.1.7**基于图像的风灾识别与评价 Wind disaster identification and evaluation based on image

针对建筑结构在强/台风下的风灾破坏图像数据，采用机器学习、深度学习、计算机视觉等技术，识别建筑结构灾后破坏特征，评价结构破坏等级。

**2.1.8**震后损伤识别与定位 Seismic damage identification and localization

针对建筑地震时程响应和视频图像数据，采用机器学习、深度学习、计算机视觉等技术，确定建筑结构地震后的损伤类型、损伤位置和损伤程度。

**2.1.9**三维重构 3D reconstruction

基于多视角图像和激光扫描等数据，恢复建筑物三维表面模型的过程。

**2.2 符 号**

**2.2.1** 镜头焦距参数：

*L*——测量范围的对角线距离；

*l*——感光元件的对角线距离；

*f*——镜头焦距；

*D*——测量距离。

**2.2.2**建筑及建筑群灾害破坏相关参数：

*n*——区域内建筑总数；

*di*——第*i*栋建筑单体的损伤指数；

*Ai*——第*i*栋建筑单体的总面积；

*Ii*——第*i*栋建筑单体的重要性指标， ：

——基于振动视频评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于灾害图像评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于健康监测数据评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于振动视频、灾害图像和健康监测数据的评价权重系数。

# 3 一般规定

**3.0.1** 智能结构灾害评价宜收集无人机、智能手机、可穿戴设备、卫星遥感和激光扫描智能感知设备，结构健康监测以及国家强震观测的建筑（群）灾害数据。

**3.0.2** 用于选用建筑结构（群）灾害智能感知的无人机、智能手机、卫星遥感和激光扫描等设备的技术参数，应能够满足后续灾害评估所需的精度要求。

**3.0.3** 智能结构灾害评价应根据感知设备自身特点制定可靠的数据采集、存储和管理制度，并对多源建筑（群）灾害数据统一分析处理。

**3.0.4** 宜采用计算机视觉方法识别建筑结构数字图像与视频中的结构振动信息，进行智能结构灾害评价。

**3.0.5** 智能结构灾害评价宜采用机器学习、深度学习和计算机视觉的人工智能方法和技术，保证结构灾害评估的及时准确。

**3.0.6** 建筑（群）风灾大数据灾害识别与评价应包括风灾破坏识别与评价两部分，可基于风灾破坏图像、振动视频和结构健康监测数据进行。

**3.0.7** 建筑（群）地震灾害智能识别与评价应综合利用震中及震后多源灾害图像、振动视频和健康监测大数据进行数据特征挖掘。

# 4 建筑（群）灾害智能感知技术

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 当建筑（群）遭遇风灾和地震等灾害时，可采用无人机、智能手机、穿戴设备、遥感图像、激光扫描等智能感知设备，以及结构健康监测系统对结构在灾害过程以及灾后信息进行采集。

**4.1.2** 采用无人机设备进行建筑结构灾害感知时，应保证无人机设备满足灾害巡检相关要求，无人机相机满足灾害监测/检测要求。

**4.1.3** 采用智能手机和可穿戴设备传感器，应保证智能手机和可穿戴设备集成的传感器量程、测量精度、分辨率、动态频响特性满足灾害监测/检测要求。

**4.1.4** 无人机搭载激光雷达的测量距离和测量精度应能够满足建筑结构灾后三维重构的精度要求。

**4.1.5** 建筑结构健康监测系统的监测内容、测点布置、传感器选型以及量程与精度要求，应符合结构监测系统建设的国家相关规范规定。

**4.1.6** 国家强震观测的数据感知相关要求，应符合国家相关规程规定。

## 4.2建筑（群）灾害感知的无人机监测

**4.2.1** 一般建筑结构的灾后损伤检测宜采用稳定性好、具有悬停功能的多旋翼型无人机。

**4.2.2** 采用无人机设备进行建筑结构灾后检测时，应采取GNSS卫星或者其它可靠技术获取无人机定位信息。

**4.2.3** 无人机设备应具备安全防护装置，可采用物理外框架防护或通过增设各类测距传感器提供系统控制层面的避障防护。

**4.2.4** 当检测建筑结构灾害时，无人机宜具有与结构可接触的外框架，以保持近距离和固定物距的状态获取结构表面信息；若不具备此外框架，无人机宜具备准确的测距传感器测量待测物的物距。

**4.2.5** 用于建筑结构灾害检测的无人机照相机或摄像机宜符合下列要求：

1 宜选用量测型镜头，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 镜头焦距应根据所检测病害的类型与检测距离合理配置；

3 照相机或摄像机宜采取机械快门；当检测过程以悬停检测为主时，可采用先扫描式电子快门；

4 采用非量测镜头进行定量检测时，应检校成像设备的基本参数，包括主点坐标、主距、镜头畸变系数；

5 镜头焦距应满足下列规定：

 （4.2.6）

式中：

*L*——测量范围的对角线距离，mm；

*l*——感光元件的对角线距离，mm；

*f*——镜头焦距，mm；

*D*——测量距离，mm。

**4.2.6** 用于建筑结构表面三维重构数据采集的无人机相机除满足4.2.5外，宜符合下列要求：

1 镜头焦距选择合理，宜位于24mm~600mm区间，不宜过长或过短；

2 相机传感器对角线尺寸宜大于22.4mm，像素数宜高于1200万像素，且应在高感光度下具有良好质量的成像。

**4.3 建筑（群）灾害感知的智能手机监测**

**4.3.1** 用于建筑风和地震灾害感知的智能手机传感器，宜包括加速度、陀螺仪、磁力传感器、GPS和摄像头等传感器。

**4.3.2** 智能手机加速度传感器宜用于建筑风和地震灾害过程中的结构振动感知监测；在分析智能手机的振动监测数据时，宜考虑智能手机集成加速度的分辨率和精度的影响。

**4.3.3** 采用智能手机测量建筑风和地震灾害过程中的结构振动感知监测时，智能手机应与结构紧密粘结，保证智能手机在测量过程中不发生滑动。

**4.3.4** 智能手机陀螺仪可用于建筑风和地震灾害过程中的结构倾斜监测；在分析智能手机的陀螺仪监测数据时，宜考虑陀螺仪传感器的分辨率和精度影响。

**4.3.5** 智能手机摄像头可用于拍摄建筑风和地震灾后结构构件损伤的图像和视频。

**4.3.6** 智能手机的GPS和磁力线传感器可用于确定智能手机采集数据的地理位置和方向。

**4.3.7**采用智能手机进行建筑结构灾害感知，测点宜布置在需识别灾害响应或破坏状态的关键点上，宜覆盖结构整体，且与其它监测系统统筹布置。

**4.4 建筑（群）灾害感知的可穿戴设备监测**

**4.4.1** 用于建筑风和地震灾害感知的可穿戴设备可包括智能手表和智能手环。

**4.4.2** 可采用可穿戴设备集成的振动传感器、摄像头、GPS等设备，收集建筑在风和地震灾害过程中的各类信息，用于结构灾后评估。

**4.4.3** 可采用可穿戴设备集成的振动传感器，对建筑在风和地震灾害过程中的结构振动响应进行感知。

**4.4.4** 宜采用可穿戴设备集成的摄像头拍摄建筑风和地震灾后结构构件损伤的图像和视频。

## 4.5 建筑（群）灾害感知的遥感影像监测

**4.5.1** 一般建筑或建筑群灾害感知宜采用超高分辫率（空间分辫率<3m）多光谱（光谱范围至少含可见光和近红外）的航空或卫星遥感影像。

**4.5.2** 遥感影像平面坐标系应采用国家规定的大地坐标系或依法批准的独立坐标系。

**4.5.3** 单色遥感影像一般宜选择全色影像，或根据实际地形和材质选择合适的单波段影像；彩色遥感影像一般应选择不少于三个波段的多光谱影像。

**4.5.4** 遥感影像应层次丰富、纹理清晰、色调均匀、对比度适中、光照均匀良好；图像中的云层覆盖宜小于5%，且不应覆盖重要地物。

**4.5.5** 遥感影像相邻各帧图像之间应有不小于图像宽度5%的重叠，融合后的影像无明显拼接痕迹，多光谱影像配准误差宜小于0.2像素。

**4.5.6** 用于三维重构的遥感影像应满足空中三角测量要求。

## 4.6 建筑（群）灾害感知的激光扫描监测

**4.6.1**三维激光扫描系统按照载具类型可分为地面站、车载和机载激光扫描系统，用于灾后区域建筑三维重构的激光扫描宜优先选择无人机载激光扫描系统。

**4.6.2** 三维激光扫描系统根据测距原理的不同可以分为基于脉冲飞行时间差测距原理和基于相位差测距原理，用于灾后区域建筑三维重构的激光扫描宜优先选择基于脉冲飞行时间差原理的激光扫描系统。

**4.6.3** 三维激光扫描系统的最长测量距离和空间精度宜参考建筑表面50%的表面反射率进行选择，且测量距离宜大于150米，空间精度宜高于3mm@10m和1cm@100m。

**4.6.4** 三维激光扫描系统宜搭配外置同轴高分辨率数码相机，并其相机主焦距、像主点、畸变参数进行标定，以获取彩色三维点云。

**4.6.5** 激光扫描系统进行扫描作业前宜开展下列工作：

1 扫描前应确保扫描仪的全球定位系统正常工作，车载和无人机载激光扫描系统还应确保惯性传感器系统正常工作；

2 地面站激光扫描作业前宜对待扫描区域建筑进行合理的网格划分和站点规划；

3 车载激光扫描作业前宜对待扫描区域进行合理的路径规划；

4 无人机载激光扫描作业前宜制定飞行计划，包括航带划分、飞行高度、速度、激光脉冲频率、航带宽度、数码相机参数设置等。

**4.6.6** 激光扫描系统的扫描作业过程宜符合下列规定：

1 宜按照点云的空间精度和最大点间距合理设置点云采集分辨率；

2 多次扫描应满足相邻扫描站间有效点云的重叠度不低于30%，重要区域如受灾严重的区域或重要建筑物应满足不低于15%的要求；

3 对遮挡严重的建筑区域宜加密扫描；

4 扫描作业中应及时检查点云数据覆盖范围完整性和可用性，对缺失和异常数据应及时补扫；

5 彩色纹理图像的拍摄应避免强光和逆光，并确保相邻图像重叠率不低于30%。

## 4.7 建筑（群）灾害感知的结构健康监测

**4.7.1**建筑结构健康监测系统宜安装加速度、GPS、倾角仪、应变传感器等设备，用于监测建筑在台风和地震灾害前、中和后期的结构响应。

**4.7.2**宜在建筑中安装加速度传感器，用于测量建筑在灾害过程中的振动峰值加速度。

**4.7.3**宜利用加速度监测响应进行建筑结构模态参数识别，传感器布设位置宜根据结构模态识别需求进行优化，传感器采样频率宜不小于建筑主要振动频率的2倍。

**4.7.4** GPS传感器宜安装在建筑顶部，采用RTK算法计算建筑在灾害过程中的顶部位移响应峰值，以及建筑灾害后的结构残余变形。

**4.7.5**倾斜仪宜建筑高度均匀布设，用于测量建筑灾害前后结构倾斜变化。

## 4.8 建筑（群）灾害感知的强震观测

**4.8.1**强震动观测系统专用设备应由加速度传感器、数据采集记录器、以及配套软件组成。

**4.8.2** 用于强震动观测的加速度传感器宜满足以下要求：

1. 加速度传感器指标及其测试应遵循DB/T 10的相关规定;

2. 加速度传感器及内置加速度传感器的记录器应严格按照方位标志牌锚固在仪器墩上。

3. 应检查加速度传感器的输出信号零位是否满足规定的要求，应在满量程的0.1%以内。

**4.8.3**强震动记录器指标及其测试应遵循DB/T 10的相关规定，无内置加速度传感器的记录器也应稳固放置。

# 5 建筑（群）灾害数据采集、存储和管理

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 宜广泛收集无人机、智能手机和可穿戴设备、卫星遥感和激光扫描等智能感知设备，结构健康监测系统以及国家强震观测网所采集的城市建筑（群）灾害相关数据，用于城市建筑（群）灾害评估。

**5.1.2** 建筑（群）风和地震灾害数据的智能感知设备，应根据设备自身特点制定可靠的数据采集、存储和管理制度。

**5.1.3**各种智能感知设备采集的建筑（群）灾害数据宜通过物联网上传云端服务器进行汇总，并统一分析处理。

**5.1.4**各类智能感知设备采集的监测数据管理应具有标准化读写接口，应考虑数据的结构化、安全性、共享性以及使用友好性和便捷性。

**5.1.5** 建筑结构健康监测系统的数据采集、存储和管理要求，应符合结构监测系统建设的国家相关规范规定。

**5.1.6** 国家强震观测的数据采集、存储和管理要求，应符合国家相关规程规定。

**5.2 数据采集**

**5.2.1**建筑结构健康监测系统的数据采集方式应根据建筑结构的空间尺寸、测点布置和数量以及传感器类型等进行设计，宜符合下列规定：

1 测点相距较远且较分散，宜选用分布式数据采集方式；

2 测点相距较近且分布较集中，宜选用集中式数据采集方式或分布式与集中式相结合数据采集方式。

**5.2.2** 采用无人机进行建筑群灾害数据采集时，宜符合下列规定：

1 使用无人机拍摄动态视频时，视频采样帧率宜不小于30帧/秒；

2 使用无人机检测建筑结构灾害特征时，所量测的特征在图像中不宜少于5个像素；

3 由无人机动态拍摄数字图像时，曝光瞬间像点位移宜小于1像素。

**5.2.4** 无人机的三维重构数据采集过程宜符合下列要求：

1 数据采集范围应覆盖目标建筑群区域，对建筑密集区域宜加密采集以减少遮挡；

2 图像数据的采集环境应具备良好的光照条件，避免弱光拍摄和逆光拍摄；

3 图像分辨率宜高于1200万像素，且相邻帧图像之间重叠度宜高于60%；图像分辨率宜满足三维重构的空间精度要求，宜按照三维重构空间精度的1/3选取；

4 视频数据的采集宜采取降低飞行速度、选定高速快门等措施减少图像运动模糊；

5 采用激光扫描采集的三维点云宜满足三维重构空间精度的要求。

**5.2.5** 智能手机采集的建筑风和地震灾害数据的采集，应符合下列规定：

1 智能手机利用其集成的加速度传感器和陀螺仪采集建筑结构在风和地震灾害过程中的振动响应时，宜采用自动触发采集方式；

2 智能手机利采集建筑结构在风和地震灾害过程中的振动响应时,宜采用智能手机集成传感器的最大采样频率；

3 智能手机采集建筑结构在风和地震灾后结构损伤图像和视频信息时，宜采用人工启动方式；

4 智能手机采集建筑结构在风和地震灾后结构损伤图像和视频信息时，摄像头分辨率宜选用其最高分辨率；

5 智能手机在采集建筑结构振动和灾后结构损伤图像与视频时，宜同时采用GPS记录手机所在位置；

6 宜开发智能手机的建筑结构风和地震灾害数据采集APP软件，对智能手机采集的建筑结构振动数据、灾后结构损伤图片与视频数据以及GPS位置信息进行集中采集和管理。

**5.2.6** 可穿戴设备采集的建筑风和地震灾害数据的采集，应符合下列规定：

1 可穿戴设备利用其集成的加速度传感器采集建筑结构在风和地震灾害过程中的振动响应时，宜采用自动触发采集方式；

2 可穿戴设备采集建筑结构在风和地震灾害过程中的振动响应时,宜采用可穿戴设备集成传感器的最大采样频率；

3 可穿戴设备在采集建筑结构振动时，宜同时采用GPS记录可穿戴设备在位置；

4 宜开可穿戴设备的建筑结构风和地震灾害数据采集APP软件，对可穿戴设备采集的建筑结构在灾害过程中的振动数据和GPS位置数据，进行集中采集和管理。

**5.2.7** 建筑群灾害遥感数据的采集，宜符合下列规定：

1 遥感影像平面坐标系应采用国家规定的大地坐标系或依法批准的独立坐标系；

2 宜采用空间分辨率<3m的多光谱航空或卫星遥感影像，光谱范围宜至少含可见光和近红外光；

3 单色遥感影像一般宜选择全色影像，或根据实际地形和材质选择合适的单波段影像；彩色遥感影像一般应选择不少于三个波段的多光谱影像；

4 遥感影像应层次丰富、纹理清晰、色调均匀、对比度适中、光照均匀良好；图像中的云层覆盖宜小于5%，且不应覆盖重要地物；

5 遥感图像相邻各张（帧）之间重叠宽度应有不小于5%，融合后的影像应无明显拼接痕迹，多光谱影像配准误差宜小于0.2像素；

6 用于三维重构的遥感影像应满足空中三角测量要求。

**5.2.8** 采用三维激光扫描仪进行建筑群灾害数据采集时，宜符合下列规定：

1 选取激光扫描仪设备时，宜确保其最远探测距离大于或等于采集所需距离；

2 扫描所得三维点云的空间精度宜大于三维重构所需精度；

3 扫描作业前宜对灾害区域的天气、扫描环境等做初步评估，必要时可采用防护等级更高的扫描设备。

**5.3 数据传输**

**5.3.1** 建筑（群）灾害数据传输宜根据智能设备数量选择点对点传输或存储转发传输模式，若智能设备数量较多时宜采用存储转发模式。

**5.3.**2 无人机采集影像数据，宜同时采用无人机无线回传实时视频和无人机内部存储器直接保存方式，进行数据传输。

**5.3.3**智能手机和可穿戴设备采集的建筑（群）灾害数据，可通过手机的4G/5G无线网络或者wifi等其它可靠方式，上传至云端服务器进行存储和分析。

**5.4 数据管理**

**5.4.1**各类智能感知设备采集的建筑（群）灾害数据宜在云端服务器进行汇总、存储和管理。

**5.4.2** 云端服务器应具备灾害感知数据的快速显示、高效存储、生成报告和数据归档等功能。

**5.4.3**根据不同的灾害感知数据存储需求，宜进行不同的数据注册及管理方式对数据资源进行编目。

**5.4.5** 宜对建筑（群）灾害数据采取识别、衡量、监控和告警等管理措施，减少数据不完整、不准确、重复、复用性差等问题。

**5.4.6** 在建筑（群）灾害数据存储前应对采集到的数据进行数据失真和失准方面的检查，如发现数据具有失真失准问题，需要进行修复。

**5.5 数据融合与特征挖掘**

**5.5.1** 建筑（群）灾害多维异构待融合数据来源应包括：

1 智能感知数据：无人机、智能手机、可穿戴设备、结构健康监测等感知数据。

2 模型计算数据：有限元模型计算数据、建筑信息模型（BIM）计算数据等；

3 参数量化数据：结构性能可靠度等级等；

4 结构档案及加固数据：结构材料试验数据、维修加固报告等。

**5.5.2**在感知数据融合前，应对区间标度类数据、类别型属性数据等感知范围和精度不足或不符合数据挖掘算法要求格式的数据进行对齐、校正和转换，可采用语义转化、数据标准化、离散化等方法。

**5.5.3** 多维异构感知数据融合应包含：数据层（像素级）融合、特征层融合以及决策层融合。

**5.5.4** 多维异构感知数据融合应该满足以下基本原则：

1 融合的数据表达精度不一致时，以高精度的数据为准；

2 融合后数据具有逻辑一致性；

3 融合后的成果数据应尽可能完整保留数据源中的相关信息。

**5.5.5** 数据特征挖掘宜集中于寻找未知的模式与规律，宜主要侧重于解决分类、聚类、关联和预测四类问题。

**5.5.6** 数据特征挖掘可采用神经网络、遗传算法、粗糙集、统计分析、模糊集等方法；

**5.5.7** 可使用关联分析、聚类分析、时序模式、偏差分析等方法进一步分析数据特征，形成可供决策的规律。

# 6 建筑结构振动视觉识别

## 6.1 一般规定

**6.1.1**建筑结构振动位移的视觉识别，应通过采集的数字图像与视频数据，采用计算机视觉算法准确识别数字图像与视频中的结构振动信息。

## 6.2 建筑结构振动视觉识别

**6.2.1** 建筑结构振动视频数据宜包括单体建筑结构的多视角视频、建筑局部和整体及建筑群的多尺度视频等。

**6.2.2**应根据工程或研究需要选择合适的建筑结构振动视频或图像数备。可选用工业CCD相机，也可选用普通消费级相机、无人机、固定摄像头、智能手机等其它设备。

**6.2.3** 数据采集方式应根据所监测结构的空间尺寸、 测点数量和布置以及数据采集设备进行设计，并满足下列要求：

1 对于大跨空间结构等大尺度结构，宜采用分布式传感器布置，并应沿结构跨度方向设置多个数据采集设备，满足数据采集设备能覆盖全部测点要求，并满足识别分辨率小于结构空间尺度1/20要求。

2 对小尺度结构，宜采用集中式传感器布置，通过较少数据采集设备完成对结构的全场高分辨测量。

3 照相机分辨率应超过2000万，宜超过4000万；摄像机分辨率应大于2K，宜达到4k及以上。

**6.2.4** 宜选择合理有效的计算机视觉方法识别视频中的建筑结构振动信息。结构振动识别计算机视觉算法宜具有特征匹配、目标检测、目标跟踪的功能，可采用基于视觉特征追踪或深度学习的结构振动识别算法。

**6.2.5** 使用视觉特征追踪方法进行建筑结构振动识别，宜符合下列规定：

1 建筑结构附近宜环境稳定、光照强度适宜，亮度及分布宜基本恒定，宜满足特征点跟踪算法基本要求；

2 建筑结构目标在视频每帧上的像素移动速度宜小于5个像素点/帧；

3 建筑结构在图像中宜特征鲜明，可在结构上安装专用物理靶点用于特征匹配、识别与跟踪。

**6.2.6** 出现下列情况时，宜使用基于深度学习的视频振动识别算法进行建筑结构振动识别：

1 需要获取建筑结构的整体位移；

2 目标结构运动过程中的视觉特征不明显，或在使用视觉特征追踪方法时，视频图像特征在10帧之内发生了偏移或丢失的现象。

**7 建筑（群）风灾智能识别与评价**

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 建筑结构风灾识别与评价可按照基于风灾破坏图像数据、振动视频和健康监测系统数据的方法进行分类。

**7.1.2** 结构风灾大数据灾害识别与评价应包括风灾破坏识别与评价两部分。

**7.1.3** 当建筑群遭受台风作用后，应进行台风灾害专项评估，形成专项分析报告。

**7.2 基于风灾破坏图像的建筑结构风灾识别与评价**

**7.2.1** 应对风灾待评价区域建筑结构进行图像数据采集，建立建筑群图像数据库，并宜满足以下规定：

1 建筑结构的多尺度图像数据来源宜包括卫星遥感、无人机、智能手机、可穿戴设备、固定摄像头等；

2 图像数据库应包括风灾前和风灾后图像数据；

3 灾前图像数据库宜半年更新一次，台风期宜2个月更新一次；

4 强/台风灾害发生后，应及时建立灾后图像数据库；

5 每个图像宜包含经度、纬度、海拔、罗盘方位等地理标记信息；

6 宜根据图像的尺度特征和风灾评价的精细程度对图像进行分类；

7 宜使用语义分割等图像分割技术获得评估区域单一建筑的灾前和灾后图像数据。

**7.2.2** 应对风灾待评估区域进行基于图像的建筑结构风灾破坏特征识别，可采用卷积神经网络等深度学习方法识别不同类型建筑结构风灾破坏特征。

**7.2.3** 应建立建筑结构风灾破坏等级机器学习模型，并满足下列规定：

1 应基于我国历年强/台风灾害作用下不同类型建筑结构破坏图像数据，识别结构风灾破坏特征；

2 应根据识别的结构破坏特征，制定不同类型结构破坏等级评价指标，建筑结构风灾破坏等级可划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和完全破坏；

3 宜采用深度神经网络建立以结构风灾破坏特征为输入的破坏等级机器学习模型。

**7.2.4** 应采用结构风灾破坏特征与破坏等级机器学习模型，对待评估区域建筑结构风灾进行快速灾害评价。

## 7.3 基于振动视频的建筑结构风灾识别与评价

**7.3.1** 建筑结构振动视频的风灾识别与评价宜使用基于计算机视觉方法识别的建筑结构振动信息，进行灾害评价。

**7.3.2** 基于振动视频的建筑结构风灾评价，宜根据识别出的建筑结构稠密测点的振动加速度等响应时程，对建筑结构风灾前和灾后的频率、振型和阻尼比进行对比分析，确定结构风灾破坏等级。

**7.3.3** 由视频识别出的建筑结构风振响应时程，宜使用循环神经网络、长短期记忆网络以及一维卷积神经网络进行建筑结构风灾评价。

**7.4 基于健康监测数据的建筑结构风灾识别与评价**

**7.4.1** 对安装了结构健康监测系统的重要建筑结构，可基于监测大数据进行风灾损伤识别和评价。

**7.4.2**用于风灾评价的结构健康监测数据应包括加速度传感器、倾角计、位移计和视频数据。

**7.4.3** 基于振动监测数据的建筑结构灾后评价，宜符合下列规定：

1 应建立结构健康监测灾前和灾后振动数据库；

2 宜采用机器学习方法自动识别结构振动频率和阻尼参数；

3 宜采用机器学习方法建立环境风速和结构振动频率和阻尼的关系；

4 宜根据环境风速和结构振动频率的关系，获得灾后结构固有频率和阻尼的关系；

5 宜对比灾前和灾后建筑结构固有频率变化，确定结构风灾破坏等级。

**7.4.4** 基于结构倾角监测数据的建筑结构灾后安全评价，宜符合下列规定：

1 宜考虑建筑结构灾中倾角峰值响应；

2 宜考虑建筑结构灾前和灾后的倾角静态值变化量，确定建筑结构的残余倾角及损失等级。

**7.5建筑（群）风灾破坏识别与评价**

**7.5.1** 建筑群风灾识别与评价宜通过采集建筑群震后三维数据完成建筑群三维重构，三维数据宜包括多视角图像构成的立体影像和激光扫描数据，三维重构数据采集设备应具有定位功能。

**7.5.2** 建筑群三维重构的对象应包含地形地貌（具有高程信息的地面和道路）和建筑物几何外形（楼宇、厂房、大型公共建筑等），宜包含建筑物的纹理信息。

**7.5.3** 三维重构算法的选择或设计应考虑原始数据形式，初始模型建立应为三维点云模型，且应符合下列规定：

1 对于立体影像数据如图像和视频，点云模型三维重构宜采用空中三角测量算法；

2 多个局部点云拼接宜合理选择点云配准算法，可采用局部匹配方法和卫星定位校正法。

**7.5.4** 基于三维点云的三维重构模型算法宜采用表面重建算法，且宜考虑对建筑物倾覆和局部破坏等状况下几何外形进行重构。三维重构最终模型宜为建筑物数字表面模型，宜符合下列规定：

1 建筑群三维模型宜以建筑单体为单位进行划分；

2 建筑群三维模型的建模精度和几何精度宜符合区域级别的细节层次精度规定，宜表现出屋顶类型和朝向和墙体的凹凸，平面和高程误差宜小于10cm；

3 建筑群三维模型宜考虑对建筑信息模型、有限元模型、地理信息系统的兼容性。

**7.5.5** 基于三维重构的风灾破坏识别与定位，应符合下列规定：

1 风灾破坏识别精度应大于或等于风灾评价所需精度；

2 当存有风灾前三维重构数据时，应对建筑灾害前后位移变化进行分析，包括但不限于局部附属构件缺失、建筑整体位移变化等；

3 应合理选择识别算法对建筑风灾破坏类别进行识别，并对受灾破坏严重程度分类或量化计算，所采用算法宜包含但不限于点云神经网络、卷积神经网络、图神经网络；

4 识别算法宜考虑多种破坏类型，包含围护结构和附属构件等破坏、重要构件破坏、整体倾斜、房屋倒塌等；

5 应对建筑风灾破坏的空间位置进行定位。

**7.5.6** 基于三维重构的建筑群风灾分析与评价应考虑灾后破坏的识别和定位、灾害破坏分级评价和灾后区域整体评估。

**8 建筑（群）地震灾害智能识别与评价**

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 建筑（群）地震灾害智能识别与评价应包括基于灾害图像、振动视频和健康监测数据的建筑结构地震灾害识别与评价。

**8.1.2** 建筑结构地震灾害智能识别与评价应综合利用震中及震后多源大数据进行数据特征挖掘。

**8.1.3** 建筑结构地震灾害智能识别与评价应对结构地震灾害下的异常状态进行识别与评估。

**8.1.4** 建筑结构地震灾害破坏等级包括基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌五个等级。

## 8.2 基于震灾破坏图像的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.2.1** 建筑结构灾害破坏图像的数据来源可包括无人机、智能手机、固定摄像头、CCD相机等。

**8.2.2** 建筑结构破坏图像数据宜包括广域建筑群图像、单体建筑结构整体图像、单体建筑结构局部主要受力构件图像、附属构件图像等多尺度信息。

**8.2.3** 建筑结构破坏图像的地震灾害识别与评价宜使用计算机视觉方法识别图像中的建筑结构病害信息，宜基于建筑结构病害特征参数进行灾害评价。

**8.2.4** 建筑结构破坏图像识别应根据建筑结构的不同形式，确定相应的整体及局部病害类型。

**8.2.5** 建筑结构破坏图像识别可利用视频（帧）及图像数据，建立建筑结构震后多类型破坏图像数据库，训练结构破坏图像分类、目标检测及语义分割的深度卷积神经网络模型，获得结构破坏自动分类、定位和像素级识别结果。

**8.2.6** 建筑结构地震灾害评价，宜采用建筑结构破坏图像及识别出的建筑结构病害特征参数建立破坏分级的机器学习模型，模型输入可包括：

1 建筑结构整体及局部破坏图像；

2 裂缝的数量、长度和宽度；

2 混凝土剥落、钢材腐蚀的相对面积；

3 钢筋暴露、钢筋屈曲的相对比例。

**8.2.7** 基于破坏图像的建筑结构地震灾害评价应综合考虑建筑表面外观检查结果和内部结构破坏状态，宜基于建筑结构表面和结构内部多类型病害的识别结果和特征参数进行融合决策。

## 8.3 基于振动视频的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.3.1** 建筑结构振动视频的地震灾害识别与评价宜使用基于计算机视觉方法识别的建筑结构振动信息，进行灾害评价。

**8.3.2** 基于振动视频的建筑结构地震灾害评价，宜根据识别出的建筑结构稠密测点的振动加速度及位移、倾角等响应时程，可通过以下分析内容进行：

1 对关键测点加速度、位移、倾角等响应的峰值和均方根值进行分析；

2 对建筑结构震前和震后的频率、振型和阻尼比进行对比分析；

3 对建筑结构震前和震后的位移和倾角进行分析，计算地震残余变形及偏位程度。

**8.3.3** 由视频识别出的建筑结构地震响应时程，宜使用循环神经网络、长短期记忆网络以及一维卷积神经网络进行建筑结构地震灾害评价。

## 8.4 基于健康监测数据的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.4.1** 建筑结构健康监测数据来源可包括加速度计、位移计、倾角计、应变计等。

**8.4.2** 建筑结构健康监测数据的地震灾害识别与评价宜根据国家强震观测系统和结构健康监测数据，综合考虑建筑结构震前和震后的结构参数和响应变化，确定相应的破坏程度。

**8.4.3** 建筑结构健康监测数据的地震灾害识别与评价应包括以下内容：

1 对强震观测系统的主余震记录、峰值加速度、峰值速度、持时、基岩与土层加速度反应谱特性差异与频域衰减特征进行分析；

2 对城市区域自由场地面加速度的峰值、均方根值、反应谱反应进行分析；

3 对代表性建筑底层加速度的峰值、均方根值、反应谱、频域反应进行分析；

4 对代表性建筑上部结构及关键楼层的加速度、位移、倾角、应变等响应的峰值以及均方根值进行分析；

5 对建筑结构震前和震后的位移、倾角、应变进行分析，计算地震残余变形、偏位程度及残余应变。

**8.4.4** 基于监测结构加速度振动信息的建筑结构震后安全评估，宜符合下列规定：

1 宜考虑建筑结构震中加速度峰值响应；

2 宜考虑建筑结构震中振动持时；

3 宜考虑建筑结构在震中响应的时频谱变化情况；

4 宜考虑建筑结构震前和震后的模态参数变化情况。

**8.4.5** 基于监测结构倾角信息的建筑结构震后安全评估，宜符合下列规定：

1 宜考虑建筑结构震中倾角峰值响应；

2 宜考虑建筑结构震前和震后的倾角静态值变化，确定建筑结构的残余倾角。

**8.4.6** 基于监测结构位移信息的建筑结构震后安全评估，宜符合下列规定：

1 宜考虑建筑结构震中位移峰值；

2 宜考虑建筑结构震前和震后的位移静态值的变化，确定建筑结构的残余位移。

**8.4.7** 建筑结构地震灾害识别与评价宜采用层次分析法，对于各类监测信息提供的结构损伤信息进行汇总。

**8.4.8** 建筑结构破坏程度可由基于振动视频、灾害图像和健康监测数据分别评价出的破坏指数通过加权平均综合确定，损伤指数可按式（8.4.8）计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8.4.8) |

式中：

——基于振动视频评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于灾害图像评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于健康监测数据评估出的建筑结构破坏指数，取值范围[0,1]；

——基于振动视频、灾害图像和健康监测数据的评价权重系数。

建筑结构破坏等级划分可参照表8.4.8。

表8.4.8 建筑楼层破坏等级划分标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 破坏等级 | 基本完好 | 轻微损伤 | 中等损伤 | 严重损伤 | 毁坏或倒塌 |
| 破坏指数*d* | (0.00, 0.10] | (0.10, 0.30] | (0.30, 0.55] | (0.55, 0.85] | (0.85, 1.0] |

## 8.5 建筑群地震灾害智能识别与评价

**8.5.1** 建筑群地震灾害识别与评价可利用卫星遥感图像及无人机大视场航拍图像，识别出区域内不同破坏等级建筑的数量占比，获得区域建筑群震灾快速评价结果。

**8.5.2** 建筑群地震灾害识别与评价宜综合利用监测系统采集的多源传感器数据、图像和视频数据以及三维模型数据等信息，宜根据区域内单体建筑的破坏分级结果及其重要性程度进行统筹评价。

**8.5.3** 利用三维重构数据的建筑群地震灾害识别与评价震后损伤识别与定位，宜符合下列规定：

1 三维重构数据的处理过程宜参考7.4.1-7.4.5条款；

2 当具有震灾前三维重构数据时，应对建筑灾害前后的位移变化进行分析，包括但不限于垂直位移、水平位移、层间位移、顶部位移、局部变形等；

3 应选择合理识别算法对建筑震后损伤和破坏类别进行识别，并对严重程度进行分类或量化，所采用算法宜包括但不限于点云神经网络、卷积神经网络、图神经网络；

4 识别算法宜考虑多种破坏类型，包括围护结构破坏、重要构件破坏、整体倾斜、房屋倒塌等；

5 应对建筑震灾损伤和破坏的空间位置进行定位。

**8.5.4** 宜通过区域建筑群震害精细化仿真，进行建筑群地震灾害识别与评价，并宜符合下列要求：

1 震害评价的精细度宜根据分析需要进行选择；

2 震害仿真可精细至建筑物楼层且精细度应高于或等于评估精细度。

**8.5.5** 通过区域建筑群震害精细化仿真进行建筑群地震灾害评价，应包含基础数据搜集、模型建立、建筑地震响应计算、建筑灾害评估等过程。

**8.5.6** 区域建筑群综合灾害指数可按式（8.5.6）计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8.5.6) |

式中：

*n*——区域内建筑总数；

*di*——第*i*栋建筑单体的损伤指数；

*Ai*——第*i*栋建筑单体的总面积；

*Ii*——第*i*栋建筑单体的重要性指标，一般建筑宜取1.0，学校、商场、高层等人员密集建筑可取1.0~2.0，具有震后急救功能的医院、易引发严重次生灾害建筑等可取2.0。

区域建筑群区域的损伤等级划分可参照表**8.5.6**.

表**8.5.6** 区域建筑群综合损伤等级划分标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 损伤等级 | 基本完好 | 轻微损伤 | 中等损伤 | 严重损伤 | 毁坏或倒塌 |
| 综合损伤指数*D* | (0.00, 0.10] | (0.10, 0.30] | (0.30, 0.55] | (0.55, 0.85] | (0.85, 1.0] |

**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“应按……执行”。

**引用标准名录**

**1** 《XXXXXXX》GB XXXX

**2** 《XXXXXXX》GB XXXXX

应按照国家标准、行业标准及协会标准的层次，依次列出。

当每个层次有多个标准时，应按先工程建设标准后产品标准的顺序，依标准编号顺序列出。

中国建筑学会标准

**智能结构灾害评价技术标准**

T/ASC X-202X

条 文 说 明

**制订（或修订）说明**

《智能结构灾害评价技术标准》T/ ASC XXX-20XX，经中国建筑学会XXXX年XX月XX日以XX号函文批准发布。

本标准（智能结构灾害评价技术标准）是在《XXXX》（T/ ASC XXX-20XX）的基础上修订而成的，上一版的主编单位是XXX，参编单位是XXX，主要起草人员是XXX、XXX、XXX。本次修订标准的主要技术内容是：1.XXXX；2.XXX。**（针对修订标准）**

本标准（智能结构灾害评价技术标准）制（修）订过程中，编制组进行了XXX的调查研究，总结了我国XXXX领域的实践经验，同时参考了相关先进技术法规、技术标准**（可指明重要技术法规及标准的名称）**，通过试验**（可列出相关试验名称）**取得了XXXX重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本标准（智能结构灾害评价技术标准）编制组按章、节、条顺序编制了本标准（智能结构灾害评价技术标准）的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与标准（智能结构灾害评价技术标准）正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准（智能结构灾害评价技术标准）规定的参考。

**目 次**

[**4 建筑（群）灾害智能感知技术 38**](#_Toc71828579)

[**4.1 一般规定 38**](#_Toc71828580)

[**4.2 建筑（群）灾害感知的无人机监测 38**](#_Toc71828581)

[**4.3 建筑（群）灾害感知的智能手机监测 38**](#_Toc71828582)

[**4.4 建筑（群）灾害感知的可穿戴设备监测 39**](#_Toc71828583)

[**4.5 建筑（群）灾害感知的遥感影像监测 39**](#_Toc71828584)

[**4.6 建筑（群）灾害感知的激光扫描监测 39**](#_Toc71828585)

[**4.7 建筑（群）灾害感知的结构健康监测 40**](#_Toc71828586)

[**4.8 建筑（群）灾害感知的强震观测 40**](#_Toc71828587)

[**5 建筑（群）灾害数据采集、存储和管理 41**](#_Toc71828588)

[**5.1 一般规定 41**](#_Toc71828589)

[**5.2 数据采集 41**](#_Toc71828590)

[**5.3 数据传输 42**](#_Toc71828591)

[**5.4 数据管理 43**](#_Toc71828592)

[**6 建筑结构振动视觉识别 44**](#_Toc71828593)

[**6.2 建筑结构振动视觉识别 44**](#_Toc71828594)

[**7 建筑（群）风灾智能识别与评价 46**](#_Toc71828595)

[**7.2 基于风灾破坏图像的建筑结构风灾识别与评价 46**](#_Toc71828596)

[**7.3 基于振动视频的建筑结构风灾识别与评价 46**](#_Toc71828597)

[**7.4 基于健康监测数据的建筑结构风灾识别与评价 46**](#_Toc71828598)

[**7.5 建筑（群）风灾破坏识别与评价 47**](#_Toc71828599)

[**8 建筑（群）地震灾害智能识别与评价 48**](#_Toc71828600)

[**8.1 一般规定 48**](#_Toc71828601)

[**8.2 基于震灾破坏图像的建筑结构地震灾害识别与评价 48**](#_Toc71828602)

[**8.3 基于振动视频的建筑结构地震灾害识别与评价 48**](#_Toc71828603)

[**8.4 基于健康监测数据的建筑结构地震灾害识别与评价 49**](#_Toc71828604)

[**8.5 建筑群地震灾害智能识别与评价 49**](#_Toc71828605)

# 4 建筑（群）灾害智能感知技术

## 4.1 一般规定

**4.1.2** 结构灾害巡检所采用的无人机设备及其关键零部件应满足相关标准的规定，并应严格按照各类禁飞区的空域管理要求作业，并提前在有关系统或部分进行备案。

**4.1.3** 尽管智能手机集成了加速度传感器、陀螺仪、GPS、磁力线传感器和摄像头等多种感知设备，但是，与专用设备相比，智能手机集成的传感器在量程、测量精度、分辨率等性能方面存在不足。因此，在使用智能手机进行建筑风和地震灾害监测/检测前，应保证其集成的传感器满足灾害监测/检测的要求。

**4.1.5** 可以参考的规范有《建筑与桥梁监测技术规范》GB50982。

**4.1.6** 可以参考的规程有地震行业标准《强振动观测技术规程》DB/T 64-2016。

## 4.2 建筑（群）灾害感知的无人机监测

**4.2.1** 常见无人机类型包括固定翼无人机、直升无人机以及多旋翼无人机，其中多旋翼无人机机械结构简单、可靠性高，一般同时具备较好的悬停性能和动态飞行性能。

**4.2.3** 一般可应用与无人机平台的测距传感器包括超声波测距、激光测距、视觉测距、微波雷达测距等，应针对不同检测环境选取符合材料性质与环境特点的测距传感器。

**4.2.6** 镜头焦距过短会使图像产生较大畸变，焦距过长会导致图像重叠度下降或拍摄数量增加，均不利于立体影像三维重构。传感器尺寸过小时，像素传感器间信号干扰会变强，且接收光强会变弱，不利于良好成像。图像采集过程中为保证图像亮度近似恒定，传感器的感光度一般设定为一定范围内可变，宜优先选择高感光度下成像良好的相机传感器。

**4.3 建筑（群）灾害感知的智能手机监测**

**4.3.1** 智能手机集成了多种传感器，可以用来测量建筑结构在风和地震灾害中和灾害后的各种信息。加速度传感器可以用来测量结构加速度响应；陀螺仪可以用于测量结构倾斜信息；磁力传感器和GPS用于智能手机方向与位置的确定；摄像头可以在灾后拍摄结构损伤情况，用于结构损伤评估。

**4.3.2** 于智能手机集成的加速度传感器，与专业的加速度传感器相比，分辨率和精度都相对较差，因此需要在监测时对于上述因素进行考虑。

**4.3.6** 智能手机中GPS可以用于确定智能手机所在位置，智能手机中磁力线传感器可以提供智能手机指向信息，便于后续监测数据的分析。

**4.4 建筑（群）灾害感知的可穿戴设备监测**

**4.4.2** 智能手表和智能手环等可穿戴设备集成了振动、摄像头、GPS等多种传感器，可以用来收集建筑结构在风和地震灾害中和灾害后的各种信息。加速度传感器可以用来测量结构加速度响应；陀螺仪可以用于测量结构倾斜信息；磁力传感器和GPS用于智能手机方向与位置的确定；摄像头可以在灾后拍摄结构损伤情况，用于结构损伤评估。

## 4.5 建筑（群）灾害感知的遥感影像监测

**4.5.1** 遥感图像空间分辨率（地面采样间隔）表示影像中的一个像素所对应的地面范围，为满足灾害感知精度要求，一般遥感图像的空间分辨率不宜低于3米。遥感图像按光谱类型分为全色图像和多光谱图像，其中全色图像使用单通道表示全部可见光波段（0.38~0.76um），而多光谱获取多个波段的影像，更适用于灾害感知分析。

**4.5.3** 如使用单色遥感影像，单色宜包含全波段光谱信息，即全色影像，避免丢失特定材质的影像信息；建议使用大于或等于三个波段的多光谱影像合成彩色遥感影像。

**4.5.4** 遥感影像的质量较差时，会降低建筑（群）灾害识别算法精度。云量过大时，会显著影响图像解译，另外云层不应遮挡重要建筑物和重要设施。

**4.5.5** 遥感影像的拼接要求相邻帧图像之间有一定的重叠部分，并且拼接过程应注意调整相邻图像使色调均匀、拼接误差小。多光谱用于合成多通道彩色图像过程中应控制配准误差，防止出现彩色影像的重影和模糊现象。

**4.5.6** 空中三角测量是遥感影像三维重构的基础，用于三维重构的图像应满足重叠率等要求。

## 4.6 建筑（群）灾害感知的激光扫描监测

**4.6.1** 三维激光扫描系统按照载具类型可以分为地面站、车载和机载激光扫描系统。车载激光扫描和地面站激光扫描的扫描范围限于建筑的外立面，且扫描效率较低，尤其对于灾后重建，难以用于复杂的作业环境。无人机载激光扫描系统的扫描范围可覆盖建筑的外立面和屋顶，扫描效率、安全性和灵活性都比较高。

**4.6.2** 激光扫描仪工作原理分为相位式和脉冲式。脉冲式的虽然精度略低，但扫描距离很长，而三维重构数据的采集要求长距离大范围，而对精度要求相对较低。

**4.6.3** 建筑物表面的反射率在50%左右，无人机飞行高度一般超过100米，而车载激光扫描仪和地面站激光扫描仪距离建筑较高处的距离也往往在100米以上。激光扫描仪的精度会随扫描距离增加而严重衰减，选择精度时宜参考50%的表面反射率和100m的扫描距离。

**4.6.4** 扫描过程中高分辨率数码相机可采集彩色图像，经过合成算法之后可以为激光扫描三维点云着色。彩色三维点云可提供额外的色彩信息，有利于灾害感知和三维可视化。

**4.6.5** 全球定位系统（GPS）和惯性传感器（IMU）用于求解扫描仪的位姿，应确保相关模块正常工作；开展扫描作业前宜对扫描区域进行合理划分，并进行路径规划等工作，以提高作业效率，减小出错率。

**4.6.6** 点云的采集分辨率并非越高越好，合理选择分辨率可以在保证精度的同时提高采集效率；多次扫描所得的局部点云后续需要进行点云配准工作，所以要求相邻点云和图像具有一定的重叠度。

## 4.7 建筑（群）灾害感知的结构健康监测

**4.7.1** 建筑结构特别是高层和超高层建筑在台风和地震荷载作用下，会产生强烈的振动，造成结构损伤。通过在建筑上设置加速度、GPS、倾角仪、应变传感器等设备，获得建筑结构在灾害的前、中和后期的结构响应，利用这些数据为建筑灾害评估服务。

**4.7.2** 建筑在台风和地震荷载作用下的峰值响应，是衡量结构损伤的重要指标。

**4.7.3** 建筑结构在灾害中发生结构损伤，会导致结构模态参数发生变化。通过识别结构振动模态，可以识别结构损伤，并进行建筑灾害评估。当设置加速度传感器位置时，宜针对结构模态参数识别进行相应的优化设计。

**4.7.4**  GPS传感器可以借助RTK算法，对建筑结构在灾害过程中的顶部位移响应进行监测。并且，通过比较建筑结构灾害前后的位移变化，确定结构的残余变形，用于建筑灾害损伤评估。

**4.7.5** 高层建筑在灾害过程中发生严重损伤时，可能会产生倾斜。在建筑上布设倾角仪，通过测量建筑灾害前后结构倾斜变化，确定建筑结构的损伤状态。

宜在建筑关键抗侧力构件上布设应变传感器，用于监测该构件在灾害过程中的最大应力，并评估构件损伤情况。

## 4.8 建筑（群）灾害感知的强震观测

**4.8.1** 强震动为地震或爆破等引起的场地或工程结构的强烈震动；强震动台网为若干固定台站或专用台阵以及台网中心组成的强震动观测系统，分为固定台站和专用台阵。其中加速度传感器性能检查利用记录器的脉冲信号测试加速度传感器的自振频率和阻尼特性。

**4.8.2** DB/T 10标准具体为《DB/T 10-2016 数字强震动加速度仪》。仪器墩为安装加速度传感器的墩体。

# 5 建筑（群）灾害数据采集、存储和管理

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 无人机、智能手机和可穿戴设备、卫星遥感和激光扫描等智能感知设备，结构健康监测系统以及国家强震观测网，可以从多层次和多角度提供城市建筑（群）在风灾和地震灾害过程中的行为信息，为准确地评估城市建筑（群）受灾情况提供了基础数据支撑。

**5.1.2** 用于建筑（群）风和地震灾害监测的智能设备种类多样，包括：无人机、智能手机、可穿戴设备以及专业的结构健康监测系统。这些设备所集成传感器的性能各异，因此需要根据监测设备的特性，制定相应的数据采集、存储和管理制度。

**5.1.3** 由于建筑（群）风和地震灾害监测的智能设备所采集的监测数据类型众多、格式各异，为了更好地对这些监测数据进行分析和汇总，需要建立一个云平台数据中心，将智能设备采集信息进行统一分析和处理。

**5.1.5** 可以参考的规范有《建筑与桥梁监测技术规范》GB50982。

**5.1.6** 可以参考的规程有地震行业标准《强振动观测技术规程》DB/T 64-2016。

**5.2 数据采集**

**5.2.2** 对于视频采样帧率，其决定动态画面的连续性，一般视频帧率低于25帧/秒时人眼可感觉画面的不连续，这种不连续性在无人机快速移动时愈加严重，进一步放大单帧图像的运动模糊。除此之外，在帧率一定的情况下尽可能设置高的相机快门速度也能改善动态视频的连续性。

对于所量测的特征在图像中不宜少于5个像素，无人机拍摄的建筑结构表面损伤过于微小时，很难保证通过图像识别方法将该损伤准确识别出来，因此本条中规定了建筑结构表面损伤特征在无人机拍摄图像中的最小尺寸。当拍摄视频时，无人机快速移动会导致拍摄的视频模糊，从而降低了结构损伤识别的精度。

**5.2.4** 无人机三维重构是通过无人机连续拍摄的建筑图像，通过计算机算法重构出建筑的三维造型。一般使用多视角图像重构得到的三维点云，其三维误差约为2~5个像素，例如图像的像素分辨率为2cm/像素，则其重构的三维点云精度约为4~10cm，一般该数值可取3倍的像素分辨率。确定点云的空间精度要求后，图像分辨率可由镜头焦距和拍摄距离确定。另外过多的遮挡会造成三维重构模型残缺，不利于进行位移变化计算、状态评估等工作，宜对建筑密集区域等遮挡严重的区域增加数据采集密度。

**5.2.5** 智能手机集成了多种传感器，可以用来测量建筑结构在风和地震灾害中和灾害后的各种信息。加速度传感器可以用来测量结构加速度响应；陀螺仪可以用于测量结构倾斜信息；磁力传感器和GPS用于智能手机方向与位置的确定；摄像头可以在灾后拍摄结构损伤情况，用于结构损伤评估。智能手机包含多种传感器，为了方便各种传感器的统一使用，来测量建筑结构风和地震灾害中的响应信息，宜开发相应的智能手机APP，对所有监测数据进行统一管理。

**5.2.6** 智能手表和智能手环等可穿戴设备集成了振动、摄像头、GPS等多种传感器，可以用来收集建筑结构在风和地震灾害中和灾害后的各种信息。加速度传感器可以用来测量结构加速度响应；陀螺仪可以用于测量结构倾斜信息；磁力传感器和GPS用于智能手机方向与位置的确定；摄像头可以在灾后拍摄结构损伤情况，用于结构损伤评估。开发APP程序，便于对可穿戴设备的所有监测数据进行统一管理，以及集中上传网络服务器进行集中处理。

**5.2.7** 遥感图像空间分辨率（地面采样间隔）表示影像中的一个像素所对应的地面范围，为满足灾害感知精度要求，一般遥感图像的空间分辨率不宜低于3米。遥感图像按光谱类型分为全色图像和多光谱图像，其中全色图像使用单通道表示全部可见光波段（0.38~0.76um），而多光谱获取多个波段的影像，更适用于灾害感知分析。如使用单色遥感影像，单色宜包含全波段光谱信息，即全色影像，避免丢失特定材质的影像信息；建议使用大于或等于三个波段的多光谱影像合成彩色遥感影像。遥感影像的拼接要求相邻帧图像之间有一定的重叠部分，并且拼接过程应注意调整相邻图像使色调均匀、拼接误差小。多光谱用于合成多通道彩色图像过程中应控制配准误差，防止出现彩色影像的重影和模糊现象。空中三角测量是遥感影像三维重构的基础，用于三维重构的图像应满足重叠率等要求。

**5.3 数据传输**

**5.3.1** 在点对点传输模式中，智能设备采集数据发送者通过信道直接将所传输的信息发送给接收者，在存储转发模式中，发送者将信息先发送给中间实体，然后中间实体再逐条转发给接收者。

**5.3.**2 无人机所搭载的相机一般具备存储功能和无线视频回传功能，存储器上存储的数据为用户指定帧率、分辨率的高清影像，无线回传的视频一般是不高于1080p分辨率、30帧/秒的实时视频，两种数据源都可在作业时保存。

**5.3.3** 通常情况下，智能手机和可穿戴设备都集成了4G/5G无线网络，或者可以通过wifi连接互联网。在智能手机和可穿戴设备采集了建筑群灾害数据后，可以通过上述网络连接方式，将采集数据上传云端服务器进行存储和分析。

**5.4 数据管理**

**5.4.3** 通过编目形成的数据资源目录含有各数据资源的描述信息，便于用户对数据资源的检索、定位和获取，提供数据显性化的应用入口，真正实现数据的可见、可管、可用。

**5.4.5** 大数据的质量检测基于不同的应用场景，围绕固有质量度量维度、环境质量度量维度、表达质量度量维度和可访问性质量度量维度，分别开展数据等级、数据性质、测点设计、监控点设计等数据质量检测工作，同步建立数据质量检查流程及持续改进机制。

**5.4.6** 受制于检监测现场的一系列恶劣工况，现场物联网络、生产制造装备、过程控制设备均不同程度地存在数据失真。由于现场的温度、振动、噪声、粉尘、光照变化等环境因素的影响，可能造成现场物联网络采集到的声、光、电等各类运行数据出现误采、漏采、丢包等数据失真问题。常用数据修复方法包括：数据滤波、平滑、降噪、插值及关联补偿等数据质量技术。

# 6 建筑结构振动视觉识别

## 6.2 建筑结构振动视觉识别

**6.2.2** 建筑结构振动不同图像和视频采集设备的特点如下：a. CCD相机：使用CCD作为感光元件，体积小，重量轻。性能稳定可靠，连续工作时间长。结构紧凑结实不易损坏，恶劣环境耐受力强。快门时间短，适用于抓拍高速运动物体。b. 普通消费级相机：一般使用CMOS图像传感器，较为廉价。可以直接编码输出特定分辨率与格式的图像或视频文件，便于数字图像处理。可以输出RAW格式，光谱范围较宽，适合进行高质量的图像处理。c. 无人机：搭载小型高清摄像头，可以从人类难以达到的角度拍摄图像或视频。可以设置航线，方便进行大尺度环绕拍摄等动态拍摄。

**6.2.4** 建筑结构振动视频识别应根据视频质量、尺度和视场范围选择合适的算法。基于视觉特征追踪的结构振动识别，是指首先使用特征点检测算法对建筑结构图像中的特征点进行提取、然后使用特征匹配或跟踪算法对特征点进行追踪、进而识别出结构振动位移。基于深度学习的结构振动识别算法通过输入结构的视频、图像等数据，通过建立深度学习网络模型识别结构振动过程中的位移、速度、加速度等响应。识别算法包括深度神经网络、卷积神经网络、循环神经网络、深度信念网络等深度学习模型，网络训练模式可由监督学习、半监督学习、无监督学习、强化学习组成。对于监督学习框架，可通过输入大量结构图像、视频、振动信号以及相应标签，通过多次迭代进行训练。对于半监督学习、无监督学习及强化学习框架，可通过大量无标签的结构图像、视频、振动信号，设计自编码器进行无标签自学习，从而获取网络结构参数。

**6.2.5** 特征点跟踪算法包括基于梯度、匹配（特征和区域）、能量、相位和神经动力学等五类方法，根据所形成的光流场中二维矢量的疏密程度，光流法分为稠密光流与稀疏光流两种。当结构振动较小时（在图像上目标像素的位移小于5个像素点/帧），使用光流特征点跟踪法具有较高的识别精度。当结构的图像视觉特征鲜明，或在结构上安装有专用物理靶点用于图像特征识别时，适合采用特征点跟踪方法进行结构振动识别。如果建筑结构的表面纹理较为单一，且结构内部也没有明显特征，则不适合采用该方法。

**6.2.6** 基于深度学习的建筑结构振动识别算法输入结构的视频、图片等，通过深度神经网络识别结构位移、速度、加速度等振动信号。算法包括深度神经网络、卷积神经网络、循环神经网络、深度信念网络等深度学习网络框架。其网络框架的参数学习训练模式包括监督学习、半监督学习、无监督学习和强化学习等。网络模型训练的具体要求如下：对于监督学习，应通过大量结构图片、视频、振动信号，以及已经标注的相应标签，输入网络之后通过多次迭代进行训练。对于半监督学习、无监督学习以及强化学习，应通过大量无标签的结构图片、视频、振动信号，设计自编码器进行无标签自学习，从而获取网络结构参数。

对于获取结构整体位移的需求，基于深度学习的结构振动识别算法可以对结构整体进行建模，可以获取全局较高分辨率测点的振动信号；此外，当目标结构的运动视觉特征不明显导致传统的光流特征点跟踪法无法有效识别时，此时基于深度学习的结构振动识别算法可有较好的识别效果。

# 7 建筑（群）风灾智能识别与评价

**7.2 基于风灾破坏图像的建筑结构风灾识别与评价**

**7.2.1** 用于风灾破坏识别的图像宜为多尺度的，包括大尺度的卫星遥感图像、中尺度的无人机航拍图像和视频、以及细微尺度的地面图像和视频。大尺度图像数据可用于快速识别和定性评估，而中小尺度可以有针对性地对区域进行精细识别和量化评估。图像采集过程宜记录地理标记作为附加信息，有利于区域级别和整体级别的风灾评价。

**7.2.2** 建筑结构的风灾破坏智能评价，应首先进行基于图像的风灾破坏特征识别，特征识别可采用具有强大特征提取功能的深度卷积神经网络或自编码机等深度学习方法进行。

**7.2.3** 对于建筑结构的风灾破坏智能评价，应首先根据风灾破坏特征建立破坏等级评价指标，然后以建筑结构破坏图像和基于破坏图像识别出的建筑结构破坏特征为输入参数，建立建筑结构破坏等级深度神经网络评价模型。

## 7.3 基于振动视频的建筑结构风灾识别与评价

**7.3.2** 对于建筑结构的风灾破坏程度评价，建立破坏分级的深度学习模型，对基于振动视频识别出的结构振动位移或加速度时程数据进行模式识别。

**7.3.3** 循环神经网络使用循环多次的神经元，对时域信号依次输入神经元来预测时变信号的类别信息，最终输出结构破坏等级。长短期记忆网络是基于循环神经网络改进的时序信号处理网络模型，通过门结构来增强网络对长期信号的有效记忆能力。一维卷积神经网络可以将一定长度的时域信号以卷积滑动的方式输入至网络。通过风灾发生后调查对建筑结构破坏等级进行人工标注，获得大量的响应时程样本及其破坏等级标签并训练网络，之后将通过振动视频识别出的建筑结构响应时程信号输入到训练好的网络中，即可获得结构风灾破坏评价结果。

**7.4 基于健康监测数据的建筑结构风灾识别与评价**

**7.4.3** 在风荷载作用下建筑结构的阻尼和刚度是由两部分组成的，一部分是结构自身的结构阻尼和刚度，另一部分是气动自激力给结构附加的气动阻尼和刚度。基于振动监测数据识别出的结构频率和阻尼为结构的总振动频率和阻尼，因此，需要剔除不同风速下气动刚度和阻尼的影响。由于钝体绕流和风场的复杂性，宜采用机器学习方法建立环境风速和结构振动频率和阻尼的关系。

**7.5建筑（群）风灾破坏识别与评价**

**7.5.1** 立体影像包括卫星遥感、无人机航拍、车载全景相机、智能手机等；激光扫描数据包括激光扫描仪，按照搭载平台包括车载激光扫描仪、无人机载激光扫描仪、地面站激光扫描仪等。定位信息在三维重构中起关键作用，包括相机姿态求解、局部点云配准等。一般采取卫星定位的方式获取定位信息，采集过程保持良好的卫星定位信号；在卫星定位失效环境下，采集设备应至少具备一种除卫星定位方式之外的定位方式，可采用红外线定位、相机定位、无线信号定位、蓝牙定位、超宽带定位等。

**7.5.2** 建筑表面几何外形是三维重构的最基本要求，此外建筑表面的纹理信息对于基于计算机视觉的破坏识别有重要作用。

**7.5.3** 无人机立体影像数据一般采用空中三角测量算法获取三维点云；激光扫描仪所采集的数据为局部三维点云。为获取区域建筑群整体三维点云，应合理采用点云配准算法将多个局部坐标系进行匹配。

**7.5.4** 表面重建算法利用数字表面对三维点云进行拟合，误差较小，可保留局部破坏等几何外形的细节。

数字表面模型以三维网格的形式表示建筑外形表面；对于建筑群三维模型，为满足建筑及建筑群灾害评估精度，三维模型应至少对建筑单体进行分割。

**7.5.5** 位移变化分析要求建筑群受灾前的三维重构数据，采用距离判别法求解两个三维模型前后变化。破坏类型分析要求建筑三维重构包含纹理信息，利用计算机视觉算法对纹理信息进行分析和破坏类型分析或分类；而破坏的严重程度除进行分类外，还宜进行量化计算，例如采用破坏区域的最大长度或投影面积。

**7.5.6** 灾后破坏的识别和定位是对建筑受灾的量化评估，其内容包括位移变化、破坏类型及破坏尺度大小、破坏位置的定位等；而灾害破坏分级是对建筑受灾情况的定性评估；灾后区域整体评估则是考虑各种因素对区域建筑群的受灾情况和整体状态的评估。

# 8 建筑（群）地震灾害智能识别与评价

## 8.1 一般规定

**8.1.2** 震中及震后多源大数据包括地震过程中建筑结构振动视频数据、地震过程中的地震台站观测数据、结构健康监测系统及智能手机采集的结构振动数据、震后结构破坏的图像数据、震后灾害调查数据（包括建筑震后状态、破坏位置和破坏程度）等。数据特征挖掘方法包括机器学习（包括分类、聚类、回归等）、计算机视觉、相关性分析等。

**8.1.3** 当数据分析结果提示建筑结构状态异常时，应深入进行数据分析，评估异常状态模式及其对建筑结构安全的影响，并提出相应的处置措施。

**8.1.4** 基本完好指承重构件完好，个别非承重构件轻微损坏，附属构件有不同程度破坏，一般不需修理即可继续使用。轻微破坏指个别承重构件轻微裂缝，个别非承重构件明显破坏，附属构件有不同程度的破坏，不需修理或需稍加修理仍可继续使用。中等破坏指多数承重构件轻微裂缝部分明显裂缝，个别非承重构件严重破坏，需一般修理、采取安全措施后可适当使用。严重破坏指多数承重构件严重破坏或部分倒塌，应采取排险措施，需大修、局部拆除。倒塌指多数承重构件倒塌，需拆除。

## 8.2 基于震灾破坏图像的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.2.4** 建筑结构整体病害类型包括整体倾斜、底层削弱、整体倾覆等。对于砌体结构，局部病害类型包括砌块错位、墙体空洞等；对于钢筋混凝土结构，局部病害类型包括混凝土开裂、混凝土剥落、钢筋暴露、钢筋屈曲、钢筋混凝土脱连等；对于钢结构，局部病害类型包括涂层破坏、钢结构开裂、钢结构失稳等。

**8.2.5** 随着图像采集硬件设备性能的不断提高和普及，可以积累形成建筑结构地震病害图像数据库并且不断丰富。基于Resnet系列、YOLO系列、DeepLab系列等经典计算机视觉深度卷积神经网络，建立建筑结构震后病害分类、目标检测及语义分割的识别模型，并根据识别结果进行病害特征参数提取（如裂缝数量、长度、宽度，混凝土剥落、钢材腐蚀相对面积等）。

**8.2.6** 对于建筑结构的破坏程度评价，建立破坏分级的机器学习模型，以建筑结构破坏图像和基于破坏图像识别出的建筑结构灾害特征参数为输入，进行破坏等级分类。破坏等级包括基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌五个等级。

## 8.3 基于振动视频的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.3.2** 对于建筑结构的地震破坏程度评价，建立破坏分级的深度学习模型，对基于振动视频识别出的结构振动位移或加速度时程数据进行模式识别。

**8.3.3** 对于深度神经网络，可通过震后调查对建筑结构破坏等级进行人工标注，获得大量的响应时程样本及其破坏等级标签并训练网络，之后将通过振动视频识别出的建筑结构响应时程信号输入到训练好的网络中，即可获得结构地震破坏评价结果。

## 8.4 基于健康监测数据的建筑结构地震灾害识别与评价

**8.4.3** 基于建筑结构健康监测数据的地震灾害识别与评价主要关注强震观测系统的主余震记录、城市区域自由场地面和代表性建筑底层的地震动输入以及建筑结构在地震过程中的加速度、位移、倾角、应变等响应的峰值和均方根值等。地震动分析主要关注地震动加速度峰值、均方值和反应谱，将分析结果与建筑结构设计地震动进行比较。建筑结构的位移、应变极值与结构/构件的设计允许值进行对比。建筑结构震前和震后监测数据分析主要关注于结构频率和振型的变化、关键受力构件（例如：梁、柱）内力变化、以及由于地震产生的残余位移和应变。

**8.4.8** 基于振动视频、灾害图像和健康监测数据的评价权重根据相应的数据质量和完备程度进行选择。如果三项均有较好的监测数据可都取为1/3；如果缺少某项数据可将对应的权重系数取为0，然后根据其余两项的数据质量和完备程度进行适当调整。

## 8.5 建筑群地震灾害智能识别与评价

**8.5.1** 对于区域建筑群的震后卫星遥感及无人机大视场航拍图像，基于计算机视觉和深度学习技术，训练针对稠密小目标的检测器网络模型，实现区域内所有建筑物的定位，同时快速获得建筑物破坏等级分类标签，进而计算出区域内不同破坏等级建筑的数量占比，实现震灾评估。

**8.5.2** 建筑群地震灾害识别与评价不宜依赖于单一类型数据。例如建筑结构在地震过程中的响应峰值等信息无法描述建筑的局部破坏；而仅利用图像和计算机视觉算法只能进行局部检测，很难对建筑整体状态进行评估；仅利用三维模型数据会漏检建筑的小尺度损伤。对于区域建筑群，可绘制出区域内建筑群的破坏程度等高线图和重要性程度热力图，确定区域建筑群不同地震破坏程度的显著性区域，基于区域所有单体建筑的破坏等级进行综合评价。

**8.5.3** 位移变化分析要求建筑群受灾前的三维重构数据，采用距离判别法求解两个三维模型前后变化。破坏类型分析要求建筑三维重构包含纹理信息，利用计算机视觉算法对纹理信息进行分析和破坏类型分析或分类；而破坏的严重程度除进行分类外，还宜进行量化计算，例如采用破坏区域的最大长度或投影面积。

**8.5.4** 楼层是建筑功能的基本载体，楼层的各种地震响应指标可为评估建筑内部非结构构件、设备、附属物的破坏提供依据，并为充分利用大数据对财产损失、人员伤亡进行精准的评估提供基础。在此分析精细度基础上可以提供不同尺度（社区、城市、城市群）与不同网格精度（如百米级或公里级网格）的评估结果。

**8.5.5** 根据分析目标，可在基础数据搜集、模型建立、建筑地震响应计算、建筑损伤评估等过程基础上，进一步包括地震次生灾害分析、人员伤亡估计、避难场所需求分析、经济损失估计等过程。

**8.5.6** 数值区间和《中国烈度表》震害指数与损伤等级的关系。