

团 体 标 准

T/CSGPC XX-2026

滑坡智能识别与监测技术规范

Technical specification for intelligent  
identification and monitoring of landslides

(征求意见稿)

(本稿完成时间：2026年3月5日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略语 .....	2
5 基本规定 .....	3
6 滑坡智能识别 .....	3
6.1 一般规定 .....	3
6.2 滑坡智能识别流程 .....	3
6.3 数据获取 .....	3
6.5 数据处理 .....	5
6.6 智能识别方法 .....	5
6.7 现场核查与验证 .....	6
6.8 质量控制 .....	7
6.9 成果编制与验收 .....	7
7 滑坡智能监测 .....	7
7.1 一般规定 .....	7
7.2 监测等级、类型 .....	8
7.3 监测系统设计与功能 .....	8
7.4 变形监测 .....	9
7.5 应力监测 .....	13
7.6 地下水监测 .....	15
7.7 外部环境监测 .....	15
7.8 图像和视频监测 .....	16
7.9 数据采集和传输、数据库 .....	16
7.10 数据处理分析与预警 .....	18
7.11 质量控制 .....	20
7.12 成果编制 .....	20
8. 证实方法 .....	20
8.1 一般规定 .....	20
8.2 智能识别 .....	20
8.3 智能监测 .....	20
附录 A (资料性) 滑坡识别各类技术流程 .....	22
附录 B (资料性) 滑坡遥感影像识别解译标识 .....	26
附录 C (资料性) 滑坡野外识别标志特征 .....	27
附录 D (资料性) 滑坡识别现场核查记录表 .....	28
附录 E (资料性) 滑坡监测方案编制大纲目录 .....	29
附录 F (资料性) 滑坡“天-空-地”协同监测体系框架 .....	30

附录 G（规范性）无人机摄影测量航摄平面中误差、高程中误差、DOM 地面分辨率要求 .....	31
附录 H（规范性）机载激光雷达设备选型、高程中误差、航飞影像质量、数据成果要求 .....	32
附录 I（资料性）监测数据通信总体架构 .....	33
附录 J（资料性）现场组网采集传输系统架构 .....	34
参考文献 .....	35

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

## 引 言

滑坡灾害是我国发生频率最高、分布范围最广、造成损失最严重的地质灾害之一，严重威胁着人类生命财产和重大工程基础设施的安全。科学识别滑坡并进行监测预警已成为主动防范滑坡灾害的重要手段。近年来，随着人工智能、新型测绘技术的发展，信息化、智能化的滑坡识别与监测技术得到了大量应用。

受制于技术落后原因，早期滑坡灾害识别主要采用人工地质调查进行，监测主要运用人工操作全站仪、水准仪、测斜仪结合等技术手段实现对灾害隐患的单点监测。近年来，随着物联网（IoT）、大数据（BD）、人工智能（AI）等新一代信息技术及合成孔径雷达干涉测量技术（InSAR）、无人机（UAV）倾斜摄影、激光雷达（LiDAR）、全球导航卫星系统（GNSS）等新型测绘技术的飞速发展，滑坡早期识别及监测已由传统的“地面点式人工调查+监测”模式发展到“天-空-地”自动化、信息化、智能化早期识别及监测预警。

本文件规定了滑坡灾害智能识别和监测的具体技术要求，推动滑坡识别和监测预警工作迈向规范化、标准化、智能化新阶段，主动防范重大滑坡灾害的发生，保障我国人民生命财产安全及基础设施的安全、稳定、高效运行。

# 滑坡智能识别与监测技术规范

## 1 范围

本文件规定了滑坡智能识别与监测的总体要求，以及智能识别流程、技术准备、数据智能获取与处理，识别方法，现场核查与验证、成果编制与控制等内容；滑坡智能监测的等级、类型及内容、监测系统设计、各类监测方法、数据处理、分析及预警、成果编制与控制等。描述了对应的证实方法。

本文件适用于滑坡灾害智能识别与监测工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 35642 1:25000 1:50000 光学遥感测绘卫星影像产品
- GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范
- GB/T 40112 地质灾害危害性评估规范
- GB/T 44146 基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50167 工程摄影测量规范
- GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范
- GB 50689 通信局（站）防雷与接地工程设计规范
- CH 1016 测绘作业人员安全规范
- DZ/T 0450 地质灾害监测数据通信技术要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**滑坡** landslide

斜坡上的土体或岩体在自然或人为因素影响下，在重力作用下，沿着斜坡内部一定的软弱带（面）整体以水平方向为主位移的地质现象。

[来源：JTG/T 3334-2018，2.1.1，有修改]

### 3.2

**古（老）滑坡** ancient (old) landslide

滑动历史久远，现已停止活动并处于稳定状态的滑坡。常因自然营力作用或人类活动，滑坡地貌特征保存不完整甚至基本消失。

### 3.3

**滑坡识别** early identification of landslide

在滑坡未发生或已经发生但仍存在再次发生的可能之前，通过多种技术手段及时发现其隐患风险的过程。

### 3.4

#### **卫星遥感监测 satellite remote sensing monitoring**

通过人造地球卫星平台对地球表面实施感应遥测。

### 3.5

#### **低空遥感 low altitude remote sensing**

相对航高1000m范围内利用无人飞行器搭载传感器对地面或目标区域进行数据采集。

[来源：T/CSGPC 051-2025, 3.1]

### 3.9

#### **滑坡智能监测 Intelligent monitoring of landslide**

采用自动化传感技术、计算机系统控制传感设备对监测点定时进行连续的监测与监测数据分析计算，快速识别并预警滑坡异常状态的全自动、全天候、实时监测。

### 3.10

#### **变形监测 deformation monitoring**

对滑坡体、支挡结构及其周边建（构）筑物的位移、沉降、隆起、倾斜、裂缝等进行量测与分析。

### 3.11

#### **应力应变监测 stress and strain monitoring**

对滑坡支挡结构的内力、变形等进行的持续量测与分析。

### 3.12

#### **预警阈值 warning threshold**

对滑坡可能发生异常或危险状态的监测量所设定的警戒值。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DOM: 数字正射影像 (Digital Orthophoto Map)

DSM: 数字表面模型 (Digital Surface Model)

D-InSAR: 合成孔径雷达差分干涉测量 (Differential InSAR)

DS-InSAR: 分布式散射体干涉测量 (Distributed Scatterer InSAR)

GB-InSAR: 地基干涉合成孔径雷达 (Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar)

InSAR: 合成孔径雷达干涉测量 (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

GNSS: 全球卫星导航系统 (global Satellite Navigation System)

LiDAR: 激光雷达 (Light Detection and Ranging)

MEMS: 微机电系统 (Micro-Electro-Mechanical Systems)

PS-InSAR: 永久散射体合成孔径雷达干涉测量 (Permanent/Persistent Scatterer InSAR)

POT: 像元偏移量跟踪 (Pixel Offset-Tracking)

SAR: 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar)

SBAS-InSAR: 小基线集合成孔径雷达干涉测量 (Small Baseline Subsets InSAR)

TS-InSAR: 合成孔径雷达时序干涉测量 (Time Series InSAR)

UAVS: 基于无人机平台的航空摄影测量作业 (Unmanned Aerial Vehicle Surveying)

## 5 基本规定

- 5.1 滑坡智能识别应根据不同阶段和目的，明确识别工作重点，宜由面到点、宏观到微观分层次展开。
- 5.2 滑坡智能识别分广域识别、详细识别、重点识别三个阶段。
- 5.3 滑坡智能识别应以 SAR 数据、光学遥感数据、无人机低空遥感数据等多源数据结合工程地质、气象、地震等基础资料，开展滑坡形变识别、图像识别、综合识别以及野外核查等工作。
- 5.4 滑坡智能识别宜采用“天-空-地”一体化识别技术结合传统工程地质核查进行。
- 5.5 滑坡智能监测应遵循准确、可靠、先进、方便、经济、适用、耐久的基本原则。
- 5.6 滑坡监测工作中，因人工监测不便实施、需高频次或实时监测、需满足可视化和信息化等情况时，应进行自动化、智能化监测。
- 5.7 滑坡智能识别与监测应积极推广和应用新技术、新方法、新设备。
- 5.8 滑坡智能识别与监测作业安全应符合 CH 1016 的规定。
- 5.9 滑坡智能识别与监测数据的传输和存储应符合国家相关保密规定。
- 5.10 滑坡智能识别与监测除应符合本规范外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 6 滑坡智能识别

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 滑坡“天-空-地”一体化识别技术包括“天基”卫星平台识别技术、“空基”航空平台识别技术、“地基”地面平台识别技术、综合遥感识别技术。
- 6.1.2 “天基”卫星平台识别技术包括基于卫星遥感影像识别滑坡技术和 InSAR 识别滑坡技术，适用于滑坡广域识别阶段。
- 6.1.3 “空基”航空平台识别技术包括无人机摄影测量识别滑坡技术和机载 LiDAR 识别滑坡技术，适用于滑坡详细识别阶段。
- 6.1.4 “地基”地面平台识别技术包括基于地面智能传感器的滑坡监测、InSAR 地基雷达监测、三维激光扫描等识别技术，适用于滑坡重点识别阶段及重大危重滑坡识别。
- 6.1.5 滑坡智能识别应结合识别区工程地质基础资料、光学影像识别、地表形变识别、地表形态构建结果等，采用目视解译、人机交互式解译、人工智能等方法开展综合识别分析。
- 6.1.6 滑坡识别要素包括滑坡位置、类型、范围、形态、体积、主滑动方向、植被发育情况、前后缘高程、滑坡与威胁对象的关系等。

### 6.2 滑坡智能识别流程

滑坡智能识别流程包括数据获取、数据处理、滑坡识别、现场核查与验证、质量控制、成果编制与验收，具体见图 1。

### 6.3 数据获取

#### 6.3.1 基础数据

基础数据收集主要包括：

- a) 滑坡灾害地质资料：包括但不限于地质构造、地层岩性、气象水文、地震等资料；
- b) 滑坡灾害资料：包括但不限于地质灾害区划、详细调查、风险调查评价；
- c) 基础地理信息数据：包括但不限于最新行政区划、公路铁路、河湖水库、居民地及设施、地名注记；
- d) 工作区近年雷达影像；
- e) 工作区光学卫星影像；
- f) 工作区 DEM 数据。

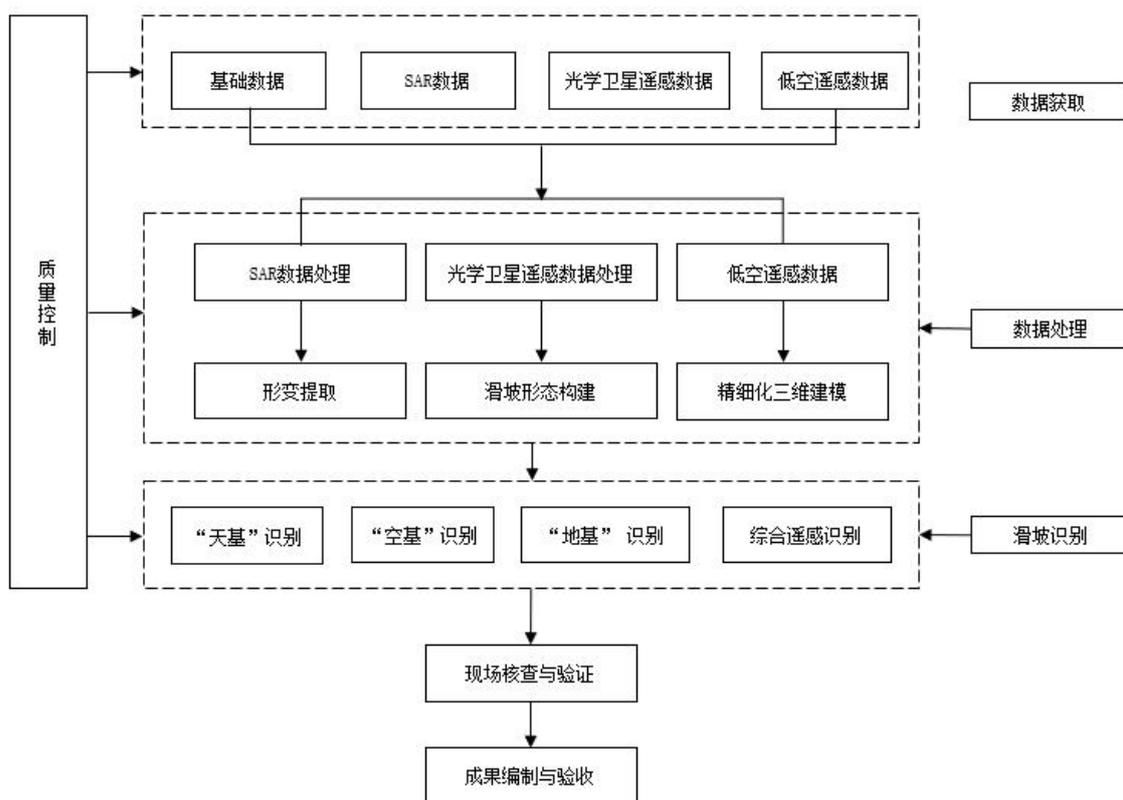


图 1 滑坡智能识别流程

### 6.3.2 SAR 数据

SAR 数据选择应符合下列规定：

- a) 应选择干涉性能稳定，成像几何条件敏感，轨道测量精度高，基线控制满足 InSAR 技术要求的 SLC 格式数据作为数据源；
- b) 应选择具有相同工作频率、带宽、脉冲重复频率、极化方向、轨道倾角且入射角相近的相干波源为 SAR 数据源；
- c) 复杂艰险山区宜选择 SAR 视线向与最大位移方向夹角最小的 SAR 卫星数据且应结合多源、多入射角、升降轨联合观测；
- d) 应根据滑坡识别工作层次、地形特点、植被覆盖情况、测量精度等条件选择存档或编程定制数据且宜选择时间长度不短于 1 年，数据存档不低于 20 期的 SAR 数据；
- e) 地表形变速率快的识别区应选择长波长、短周期、高分辨率的 SAR 数据，地表形变速率慢的地区应选择波长较短的 SAR 数据；
- f) 植被茂盛的识别区宜选择长波长、穿透能力强的 L 波段数据，建筑物较多的识别区宜选择 X 波段 SAR 数据，其他情况宜选择 C、S 波段 SAR 数据；
- g) SAR 数据分辨率选择应根据识别工作阶段确定。一般识别（宏观识别）阶段 SAR 数据分辨率应不低于 20 m（多视后）；重点识别（系统识别）阶段针对区域识别时 SAR 数据分辨率应优于 10m（多视后），重大危重滑坡隐患识别时 SAR 数据分辨率应优于 3m；
- h) 当识别解译精度要求成果图件的比例尺为 1:10 万时，宜采用分辨率优于 15m 的 SAR 数据；图件的比例尺为 1:25 万时，宜采用分辨率优于 30m 的 SAR 数据；
- i) SAR 卫星重访周期应优先选择短周期 SAR 数据；
- j) 当大尺度识别区需要同轨或跨轨的多景 SAR 图像进行拼接时，同轨相邻两景 SAR 图像的重叠率应超过沿轨图像长度的 10%；跨轨数据相邻两景图像的重叠率应超过图像幅宽的 15%；
- k) 空间基线应选择小于临界空间基线的 SAR 数据组成像对或数据集。

### 6.3.3 卫星光学遥感数据

卫星光学遥感数据选择应符合下列规定：

- a) 滑坡广域识别阶段宜选择空间分辨率优于 10m~30m 卫星遥感影像；滑坡详细识别阶段宜选择空

间分辨率优于 2m~5m 卫星遥感影像；古老滑坡识别宜选择空间分辨率优于 1m~0.5m 卫星遥感影像；重大危重滑坡识别时宜选择空间分辨率优于 0.5m~0.2m 卫星遥感影像；

b) 光学遥感数据的云、雪、阴影覆盖率不宜大于 5%；

c) 采用的光学遥感数据与工作时间间隔应不大于 1 年，存档数据无法满足时应不大于 2 年，时间周期不少于 1 期/年，观测周期至少覆盖近两年；

d) 识别区发生强降雨或强震时，应补充收集事前和事后各 1 期数据。

#### 6.3.4 低空遥感数据

低空遥感数据选择应符合下列规定：

a) 低空遥感数据包括三维点云、DSM、DOM、三维实景模型等数字产品；

b) 低空遥感数据获取应优先确定滑坡识别阶段调查比例尺，滑坡广域识别阶段比例尺宜为 1:5000~1:10000，滑坡详细识别阶段比例尺宜为 1:500~1:2000，滑坡重点识别阶段比例尺宜为 1:500；

c) 低空遥感数据获取应避免夏天树木茂盛或冬季积雪覆盖时段，无法避免时应选择天气晴朗的正午时刻获取；

d) 机载激光雷达数据获取宜采用仿地飞行方式，获取的点云数据密度应大于 16 点/m<sup>2</sup>；植被覆盖密集区域重大滑坡隐患识别时，点云密度应加密处理。

### 6.5 数据处理

#### 6.5.1 SAR 数据

SAR 数据处理应符合下列规定：

a) 应根据滑坡识别阶段和要求结合可用的 SAR 数据选择适宜的 InSAR 数据处理方法；

b) 各类 InSAR 数据处理流程和方法应按照 GB/T 44146 规定执行；

c) 可采用不同的 InSAR 数据处理方法和不同的 SAR 数据进行结果验证分析；

d) 宜采用深度学习方法判识形变聚集区，并通过叠加光学、地形等数据，参考相干性图，剔除无效形变信息。

#### 6.5.2 卫星光学遥感数据

卫星光学遥感数据处理应符合下列规定：

a) 卫星光学遥感数据处理主要包括大气校正、辐射校正、几何校正、图像配准、图像增强、图像融合、图像镶嵌等步骤；

b) 卫星光学遥感数据处理流程和方法应按照 GB/T 35642 规定执行；

c) 卫星光学遥感数据宜通过计算机数字图像处理，制作识别区 DOM。

#### 6.5.3 低空遥感数据

低空遥感数据处理应符合下列规定：

a) 低空遥感影像数据处理主要包括大气校正、辐射校正、几何校正、图像配准、图像增强、图像融合、图像镶嵌等步骤；

b) 激光雷达数据处理主要包括坐标及高程系统转换、点云滤波分类、数字高程模型、数字正射影像图制作、矢量要素采集等步骤；

c) 滑坡广域识别阶段可采用收集的基础地理信息数据 DEM 为地表形态构建结果，DEM 分辨率应不低于 5 m；详细识别应基于带状或面状机载激光点云数据构建 DEM，DEM 分辨率应不低于 2.5 m；

d) 低空遥感数据处理方法应按照 GB/T 39612 规定执行。

### 6.6 智能识别方法

#### 6.6.1 “天基”卫星平台识别

6.6.1.1 基于光学遥感影像识别滑坡技术包括基于单一影像的解译识别、基于多时相影像特征变化解译识别、基于多期影像地表形变提取识别等方法。

6.6.1.2 基于单一影像的解译识别方法适用于新发生滑坡或地表形态特征明显的古老滑坡的识别；基于多时相影像特征的变化识别方法适用于已发生的滑坡的识别；基于多期影像地表形变提取识别方法适用于变形明显且滑坡范围较大的滑坡的识别。

6.6.1.3 基于卫星光学遥感影像识别滑坡包括遥感图像处理、DEM 构建、纹理映射和三维渲染等技术流程，具体技术流程见附录 A.1。

#### 6.6.1.4 InSAR 识别滑坡技术应根据以下原则选择合适的方法：

- a) 广域滑坡识别阶段，当数据累积量少时应选择 D-InSAR 方法，当数据累积量多时应选择 Stacking-InSAR 方法；
- b) 详细识别阶段应选择 SBAS-InSAR 或 PS-InSAR 等 InSAR 时序分析方法；
- c) InSAR 数据处理宜采用两种或两种以上方法，宜采用 Stacking-InSAR 与 SBAS-InSAR 相结合的方法；
- d) 滑坡影像干涉相干性较好时宜选择 D-InSAR 方法，变形速率大于 1m/年时宜采用 POT 方法；
- e) 各种 InSAR 数据处理方法应按照 GB/T 44146 相关规定执行。

#### 6.6.1.5 采用 InSAR 技术识别滑坡时应采用如下流程：

- a) 工作区工程地质背景分析；
- b) InSAR 适用性分析；
- c) SAR 数据选择及数据处理方法；
- d) 数据精度要求与质量控制措施；
- e) 识别结果验证；
- f) 提交结果；
- g) 结果验收。

### 6.6.2 “空基”航空平台识别

6.6.2.1 UAVS 识别技术适用于地表植被不发育的新发生滑坡或地表形态特征明显的古老滑坡的识别。

6.6.2.2 UAVS 识别技术可通过倾斜摄影、仿地飞行和贴近摄影相结合的方式通过获得的高清影像和重构的三维实景模型识别滑坡位置、形态、边界范围及结构面产状等特征信息。无人机实景三维建模流程见本规范附录 A.2。

6.6.2.3 机载 LiDAR 识别技术适用于新发生滑坡或地表形态特征明显的古老滑坡的识别，尤其适用于植被覆盖区隐蔽性滑坡识别，具体技术流程见本标准附录 A.3。

### 6.6.3 “地基”地面平台识别

6.6.3.1 高位滑坡可通过三维激光扫描技术、进行地面监测识别。

6.6.3.2 重大危重滑坡可通过 InSAR 地基雷达技术进行非接触监测识别。

### 6.6.4 综合遥感识别

6.6.4.1 重点滑坡识别宜结合基础资料、光学遥感影像、形变监测、地表形态构建、三维精细化建模等进行综合遥感识别，具体技术流程见本附录 A.4。

6.6.4.2 综合遥感识别应综合利用 SAR 卫星轨道信息、DEM、光学影像、SAR 强度图与相干图等数据，剔除水域、阴影、叠掩等无效观测区域。

6.6.4.3 综合遥感识别应叠加光学影像、DEM 等数据及地质环境背景资料，剔除伪形变区和非滑坡隐患风险形变区。

6.6.4.4 综合遥感识别应采用人机交互解译方式，可结合形变梯度探测、空间数据聚类分析方法（如阈值分割法、热点图法）、深度学习等算法提取形变聚集区。

6.6.5 卫星遥感、低空遥感滑坡影像识别解译标识具体见附录 B。

6.6.6 通过“天基”卫星平台技术、“空基”航空平台技术识别的滑坡隐患应通过现场工程地质核查验证识别的准确性并进行补充完善。

## 6.7 现场核查与验证

6.7.1 现场核查应根据光学遥感底图，携带定位、通讯、摄影及测量设备，通过目视观测、现场量测以及工程地质调查等方式对已识别滑坡进行核查，野外识别滑坡标志特征可参考附录 C。

6.7.2 现场核查内容主要包括已识别滑坡的孕灾环境、发育特征、变形迹象、诱发因素、威胁对象、发展趋势等情况，并填写现场核查记录表，表格格式示例见附录 D。

6.7.3 广域识别阶段现场核查率应不少于 30%，详细识别阶段应全部进行现场核查工作。

6.7.4 现场核查应采集现场照片，已识别滑坡全貌照片应不少于 1 张；局部特征照片应不少于 3 张；照片应同步记录拍摄位置、拍摄时间等信息；照片分辨率应不低于 300 dpi。

6.7.5 现场重点核查通过“天基”、“空基”识别的滑坡的变形部位和变形特征，现场变形不明显的滑坡隐患应通过走访当地群众进行核实。

6.7.6 现场核查结束后应按照查证结果修改识别成果，使识别成果更加客观、准确。

## 6.8 质量控制

6.8.1 滑坡识别内业成果应全部检查；现场检查项采用抽样检查，抽样率应按照 GB/T 24356 的相关规定执行。

6.8.2 滑坡识别质量检查内容应包括：

- a) 原始数据资料齐全性、准确性检查；
- b) 地表形变监测结果准确性检查；
- c) 地表形态构建结果准确性检查；
- d) 解译判识成果检查，包括空间数据集要素与影像数据吻合情况、空间数据集字段内容完整性和准确性、识别记录表内容的完整性和准确性；
- e) 核查成果检查，包括现场核查是否符合核查要求、现场核查记录表内容的完整性和准确性；
- f) 成果资料齐全性检查。

## 6.9 成果编制与验收

6.9.1 滑坡识别成果汇总包括：

- a) 数据成果：光学遥感解译成果空间数据集、地表形变速率等；
- b) 图件成果：滑坡识别空间分布图、地表形变速率图等；
- c) 文档成果：成果报告；
- d) 相关附件：包括滑坡识别识别记录表、滑坡识别野外查证记录表等。

6.9.2 滑坡识别成果数据应以地理信息系统的空间数据集形式进行整理。

6.9.3 空间数据集应包含地表形变特征提取、滑坡识别要素光学遥感解译和滑坡综合识别评价的成果数据。

6.9.4 应编制滑坡识别成果展示图，制图比例尺和幅面大小应根据识别层次和工作区范围确定，以内容完整表达为准。详细识别阶段制图比例尺应不小于 1:10000。

6.9.5 滑坡识别成果验收应包括以下内容：

- a) 工作成果是否符合项目设计书的要求；
- b) 数据、图件和文档成果与实际资料是否相符；
- c) 各项数据资料的综合整理与利用程度；
- d) 是否完成野外核查工作。

## 7 滑坡智能监测

### 7.1 一般规定

7.1.1 滑坡智能监测工作流程包括现场踏勘调研、监测方案编制及评审、现场设备安装及调试、监测平台数据分析及展示、项目验收及人员培训、监测过程技术服务、报告提交及资料归档等。

7.1.2 监测工作开展前，应开展被监测滑坡现场踏勘及方案编制，内容包括但不限于确定监测内容、监测方法、监测设备与安装、系统调试与运行、系统运行维护计划等。大纲编制目录见附录 E。

7.1.3 滑坡智能监测系统应包括监测硬件设备、数据采集系统、数据传输系统、数据处理系统和智能监测预警平台。

7.1.4 滑坡智能监测应采用可靠、稳定、耐久的智能传感器和自动化监测设备。

7.1.5 滑坡智能监测系统应具有状态信息感知、采集、传输、存储、数据处理、监控设备控制、安全评估与预警等功能。

7.1.6 滑坡智能预警应实施分级预警与响应。通过宏观预警、监测数据预警与区域气象预警综合分析，实施智能化分级预警与响应。

7.1.7 滑坡智能监测预警应按工程等级，滑坡灾害等级、设计要求或运营安全管理控制要求设定安全监测预警阈值。

## 7.2 监测等级、类型

7.2.1 滑坡智能监测等级根据滑坡防治工程等级、危害程度等条件划分，宜按表 1 确定。

表 1 滑坡监测等级

滑坡监测等级	滑坡防治工程等级	滑坡危害程度
一级	特级、I 级	大
二级	II 级	中等
三级	III 级	小

7.2.2 滑坡防治工程等级应按 GB/T 38509 相关规定执行；滑坡危害程度按 GB/T 40112 相关规定执行。

7.2.3 滑坡监测类型包括：

a) 变形监测类，包括滑坡体地表位移监测、支挡结构位移监测、滑坡体深部位移监测和裂缝监测等项目；

b) 应力监测类，岩土应力、支挡结构应力、锚杆（索）应力等项目；

c) 地下水监测类，地下水位、孔隙水压力监测等项目；

d) 外部环境监测类，降雨量监测、温度、湿度等项目；

e) 图像和视频监测类。

7.2.4 滑坡监测内容宜根据被监测滑坡特点结合监测等级选择适宜的监测类型。

7.2.5 滑坡监测内容宜以变形监测、降雨量监测为主，其它监测类型为辅。

## 7.3 监测系统设计与功能

### 7.3.1 滑坡智能监测系统设计

7.3.1.1 滑坡智能监测系统应安全可靠、实用性强、便于维护、易于扩展改造和升级并保持整体架构的稳定性。

7.3.1.2 滑坡智能监测系统构建应采用前后端分离方式，数据的输入、输出应采用统一的系统 API 实现，系统数据应具有有一致性、安全性、扩展性。

7.3.1.3 滑坡智能监测系统设计内容包括：

a) 自动化监测仪器及数据自动采集设备的技术指标、设备选型、安装调试及仪器现场保护方案；

b) 现场通信方式及网络结构设计；

c) 供电、防雷及防护方案设计；

d) 数据采集、传输软件功能设计；

e) 监测信息管理平台功能设计；

f) 智能监测系统测试与验收方案设计；

g) 智能监测系统正常使用的维护要求。

7.3.1.4 数据自动采集模块设计应符合下列要求：

a) 应具有电源管理、电池供电和掉电保护功能；

b) 应具有自动巡测、选测和数据暂存功能；

c) 监测数据定时与加密采集、上传周期可调功能；

d) 应配置人工比测接口，人工比测时不应影响自动化系统的正常运行和接线配置；

e) 应具有现场设置主机有关参数功能；

f) 宜具有支持远程固件升级、远程重启功能；

g) 宜具有阈值触发，加密采集功能；

h) 宜具有接收采集服务器的命令设定测控参数功能。

7.3.1.5 数据传输模块设计应符合下列要求：

a) 局域数据传输采用开放的通信协议和标准数据传输方式，数据传输宜采用有线传输方式，有线传输难以实现时，可采用无线传输方式；

b) 远程数据传输应采用具有校验功能的通信协议，能及时纠正传输错误的数据包；

- c) 对信号不稳定区域或重点监测区域，宜采用具有支持智能切换功能的 2 种及以上通信方式；
- d) 支持 2 路及以上地址发送含不同登录信息及不同协议格式的数据功能。

#### 7.3.1.6 电源及防雷接地设计应符合下列要求：

- a) 采用电网电源或太阳能电源时，应配置免维护蓄电池组，外部电源故障时，蓄电池的容量应满足连续 15 天阴雨天气情况下的监测设备正常运行；
- b) 可采用避雷针、避雷带和接地系统对监测系统中设备集中位置进行直击雷防护；
- c) 可采取避雷器、隔离装置和过载装置等对监测系统的电源、传感器、采集装置及通信介质的雷电感应进行过压防护；
- d) 防雷设计应符合 GB50343、GB50057 的相关技术要求，接地设计应符合 GB50689 的相关技术要求。

#### 7.3.1.7 网络通信设计应符合下列要求：

- a) 网络通信可根据工程实际情况采用有线或无线传输介质；
- b) 网络通信应采用统一的通信协议和标准接口；
- c) 宜采用保护管、线槽、桥架等方式对有线通讯线路进行防护，外部线缆敷设宜采用钢管保护并可靠接地，必要时在穿管后进行挖槽回填保护。

#### 7.3.1.8 网络安全设计应符合下列要求：

- a) 应采用通过安全认证的隔离装置、防火墙、网关等网络安全设备；
- b) 智能监测系统应具有多级用户管理功能，设置多级用户权限及安全密码，对系统进行有效的安全管理；
- c) 使用 IP 协议的监测感知终端宜优先使用 IPv6 地址；
- d) 监测数据的采集、共享、应用应符合国家网络信息安全要求。

### 7.3.2 滑坡智能监测系统功能

滑坡智能监测系统应具备下列基本功能：

- a) 数据通信和远程通信；
- b) 防雷接地和抗干扰；
- c) 数据自动采集、上传；
- d) 数据存储、管理；
- e) 数据备份、自检、自诊断、断电保护和故障显示；
- f) 数据智能分析及处理；
- g) 统计、报表和图表分析、图形数据展示；
- h) 智能预警、报警状态显示；
- i) 数据共享、查询；
- g) 人工监测信息接入接口；
- k) 设备管理、工程部位管理；
- l) 网络安全防护；
- m) 用户权限分级管理；
- n) 系统参数配置；
- o) 运行维护记录与管理；
- p) 项目资料（合同、大纲方案及监测报告等）管理。

## 7.4 变形监测

7.4.1 滑坡变形监测包括坡体地表变形监测、支挡结构物变形监测、滑坡影响范围内建筑物和结构物的变形监测。

7.4.2 地表变形监测包括水平位移监测、垂直位移监测、倾斜监测等。治理结构物位移监测主要包括位移、裂缝、倾斜等。滑坡影响范围内建筑物和结构物变形监测主要包括位移、裂缝、倾斜等。

7.4.3 滑坡变形监测网、点布设应符合以下规定：

- a) 变形监测线、监测点数量应根据滑坡监测等级、滑坡规模及现场条件等进行布设按表 2 确定。
- b) 监测网点布设应以变形监测网为核心，应力、地下水、环境监测点宜结合变形监测网进行布设；
- c) 滑坡潜在滑动方向和边界明确时，监测网可布设成十字形或方格形；当潜在滑动方向和边界不明确时，监测网宜布设呈放射网形或采用多种网形；
- d) 控制性监测线应沿着滑坡潜在滑动方向或垂直于滑坡方向布置，宜与勘察剖面重合或平行；

表 2 变形监测点布设要求

分类	监测等级		
	一级	二级	三级
控制性监测线	$\geq 3$ 条, 线间距 $\leq 50\text{m}$	$\geq 1$ 条, 线间距 $\leq 100\text{m}$	视具体情况布置, 线间距 $\leq 150\text{m}$
每条监测线地表变形监测点	点间距 20m~30m, 且监测点不少于 3 点	点间距 30m~40m, 且监测点不少于 3 点	点间距 40m~50m, 且监测点不少于 2 个
每条监测线深部变形监测点	点间距 30m~40m, 且不应少于 2 点	点间距 40m~50m, 且不应少于 2 点	视具体情况布置, 点间距不宜大于 60m

e) 支挡结构顶部位移应沿支挡结构走向布设, 监测点间距不宜大于30m;

f) 深部位移监测孔深度应达滑坡最下层潜在滑动面以下不小于5m;

g) 利用固定物作为绝对变形监测点位时, 应避免在滑坡变形体、临空陡崖和被深大裂缝切割的岩块上选点。

7.4.4 滑坡变形智能监测建议采用“天-空-地”协同监测方式进行, 具体监测体系框架见本标准附录 F。

7.4.5 “天基”智能监测可采用以下技术:

- a) GNSS;
- b) InSAR;
- c) 高清光学卫星遥感。

7.4.6 GNSS 监测应采用双频接收机, 并按静态进行监测, 应符合以下规定:

- a) 监测点高度  $15^\circ$  以上地平高度角的卫星通视条件, 能够可靠接收卫星信号;
- b) 监测点距易产生多路径效应的地物(如高大建筑、树木、水体、海滩和易积水地带等)和大功率无线电发射源(如电视台、电台、微波站等)的距离应大于 200m, 距离高压输电线路和微波无线电信号传输通道不小于 50m;
- c) 每次监测, 同一基准点和监测点应使用同一台 GNSS 接收机和天线;
- d) 接收机天线水准器应居中, 天线相位中心高度应测量两次, 两次较差不应大于 1mm。

7.4.7 InSAR 监测技术适用于区域大范围滑坡变形监测。在植被茂盛地区宜设置角反射器进行监测, 相关监测要求应符合 GB/T 44146 的相关规定。

7.4.8 InSAR 监测滑坡变形时, 数据获取应符合以下基本规定:

- a) 应根据监测对象特点、监测目的、监测区 SAR 数据接收情况综合分析后选取 SAR 数据;
- b) SAR 数据宜优先选择波段长、观测频率高的数据;
- c) SAR 数据分辨率宜优于滑坡长度和宽度二者小值的 10%;
- d) 滑坡监测的 SAR 入射角水平方位以顺滑动方向为最佳, 逆滑动方向次之, 宜避免垂直滑动方向;
- e) 监测精度优于 10mm 时, SAR 数据量宜不少于 8 景/a; 生成非线性变形监测成果数据量宜不少于 16 景/a;

f) 以 1:10 万比例尺图件表达 InSAR 变形成果宜采用分辨率优于 15m 的 SAR 数据, 以 1:25 万比例尺图件表达 InSAR 变形成果宜采用分辨率优于 30m 的 SAR 数据;

g) 宜优先首选同极化 SAR 数据, 其次选择交叉极化 SAR 数据。

7.4.9 InSAR 监测滑坡变形时, 数据处理应符合以下规定:

- a) 数据处理时应选择辅助性数据包括 DEM、成果地图和部分 SAR 卫星精密轨道;
- b) DEM 数据分辨率应优于 SAR 影像分辨率, DEM 数据比例尺应大于 InSAR 成果比例尺;
- c) DEM 数据质量应达到分析要求, 在空间上无跳变和空洞。当有质量问题数据面积小于 20%时, 应采用其他数据补充, 当有质量问题数据面积大于 20%时, 应更换其他符合质量要求的数据;
- d) DEM 数据的现势性应与 SAR 数据时相接近;
- e) 宜首先选择 SAR 强度影像作为中等比例尺成果底图;
- f) 以不小于 1:10 万比例尺表达成果时宜选用高分辨率的光学遥感影像作为底图;
- g) 光学影像数据宜选用云层覆盖量小于 20%、数据缺失不超过 5%。

7.4.10 InSAR 监测滑坡变形时, 数据处理方法适用条件见表 3。

表3 InSAR数据处理方法适用条件

数据处理方法	滑坡监测适应场景	可监测变形速率范围
D-InSAR	缓慢变形	1mm/a~1cm/a
Offset-SAR 方法	快速、明显变形	>1m/a
Stacking-InSAR 观测组合	中、快速变形	1 cm/a~1 m/a
SBAS-InSAR	较大变形	1 cm/a~1dm/a
PS-InSAR	微小线性变形和非线性变形	1 mm/a~1 dm/a

7.4.11 高分辨率光学卫星遥感监测包括地表特征监测和地表变形监测。地表特征监测通过多时相光学卫星遥感影像解译，实现滑坡区域土体类型、植被覆盖等的变化进行监测。地表变形监测宜利用像素偏移追踪技术对大变形水平位移（大于1m）监测；也可利用滑坡区多期DSM进行差分计算，对滑坡区垂直位移进行监测。

7.4.12 “空基”智能监测可采用UAVS监测、机载LiDAR等技术。

7.4.13 UAVS、机载LiDAR技术获得高分辨率、高精度的（DEM，通过多期差分实现对滑坡裂缝分布、边界范围、地表变形的监测。

7.4.14 UAVS监测技术适用于表面植被不发育的滑坡中长期变形监测。

7.4.15 UAVS应用于滑坡监测，应符合以下规定：

a) 根据滑坡变形特点、规模和精度要求选择作业方法，可采用时间基线视差法、立体摄影测量方法或实时数字摄影测量方法等；

b) 监测点标志可采用十字形或同心圆形，标志颜色应使影像与标志的背景色有反差；

c) 像控点应布设在滑坡体四周，景深大于100m时，应在景深范围内均匀布设；像控点精度不宜低于滑坡体监测精度的1/3；当采用直接线性变换法解算待定点时，一个像对宜布设6~9个控制点；当采用时间基线视差法时，一个像对宜布设4个以上控制点。

d) 航线布设方式应按固定航线布设。航向重叠率应大于75%，旁向重叠率应大于60%，应按同一架次定高拍摄。

e) 无人机摄影测量航摄平面中误差、高程中误差、DOM地面分辨率要求应按附录G执行。

f) 无人机摄影测量应符合GB50167的相关规定。

7.4.16 机载LiDAR适用于表面植被发育滑坡中长期变形监测。

7.4.17 机载LiDAR应用于滑坡监测，应符合下列规定：

a) 对于不同投影带的成果，每个投影带中应至少有1个检查样本，每个检查样本的检查点数不应少于30个；

b) 检查样本间距不应大于30km，且不应少于2个，当工程项目为线状时，检查样本间距可放宽至1.5倍；

c) 机载LiDAR设备选型、高程中误差、航飞影像质量、数据成果要求见附录H。

7.4.18 “地基”智能监测可采用智能型全站仪、三维激光扫描、地基干涉合成孔径雷达（GB-InSAR）等方法。

7.4.19 智能全站仪监测应符合以下规定：

a) 测站应设立在滑坡体外稳定的基准点或工作基点上，并应采用有强制对中装置的观测台或观测墩；测站视野应开阔无遮挡，应设安全警示标志，并安装防水、防尘设施；

b) 基准点不宜少于3点，互相之间应通视；

c) 监测点宜埋设安置反光镜或觇牌的强制对中装置或其他固定照准标志；

d) 数据通信电缆宜采用光纤或专用数据电缆，连接处应采取绝缘和防水措施；

e) 测站和数据终端设备应有不间断电源；

f) 数据处理软件应具有观测数据自动校核，超限数据自动处理、不合格数据自动重测功能，观测目标被遮挡时可自动延时观测；

g) 水平角观测和距离测量观测技术要求应符合GB 50026相关规定。

7.4.20 三维激光扫描技术适用于高陡滑坡非接触监测。

7.4.21 三维激光扫描技术监测分为基于点的监测和基于面的监测。基于点的监测主要通过扫描设置的标靶并提取标靶中心三维坐标来实现变形监测；基于面的监测主要通过对比分析DEM的变形状况来实现变形监测。

7.4.22 GB-InSAR适用于高陡危险、人员难以抵达、变形隐蔽且需实时预警的滑坡。

7.4.23 采用GB-InSAR监测滑坡变形时，应符合以下技术规定：

- a) 应以雷达波束中心线为参考设计雷达测量视角，并将主要监测目标置于雷达波束最优辐射区域内，目标主要变形方向和雷达视线夹角不宜超过 $60^\circ$ ；
- b) 雷达设备启动后应进行预热，并应舍弃开始5景~10景影像；
- c) 应选择雷达波束辐射范围内稳定区域作为主要变形区域变形计算的参考基准；
- d) 测区目标应具有后向散射能力；当回波信号强度整体较弱时，可布设人工反射器等协作目标，角反射器大小应根据雷达分辨能力综合确定；
- e) 连续性准实时变形监测系统设计时，应加快高相干点目标选取和干涉处理速度。

7.4.24 滑坡深部变形智能监测可采用阵列式位移计（柔性测斜仪）和分布式光纤监测等方法。

7.4.25 深部变形监测断面布置应根据滑坡变形范围、规模等因素确定。监测断面数量不宜少于3条，每条监测断面监测钻孔数量不少于3个。

7.4.26 深部变形监测点钻孔应布设在滑坡体关键位置，并可对滑坡局部滑动和可能具有的多层滑动面进行监测，测斜管埋设深度应在预计的最下层滑动面（带）以下不小于5m。

7.4.27 柔性测斜仪监测应符合下列规定：

- a) 系统精度不宜低于 $\pm 0.25\text{mm/m}$ ，分辨率不应低于 $\pm 0.02\text{mm}/500\text{m}$ ；
- b) 宜采用高精度的MEMS加速度计或光纤传感器；
- c) 钻孔中预埋的测斜管直径宜为40mm~90mm。测斜管宜选择PVC、ABS 塑料、玻璃纤维、铝合金等材质，管内壁须有双向互成 $90^\circ$ 的导槽。测斜管安装应保持一对导槽连线方向宜与滑坡位移方向一致；
- d) 测斜管应在滑坡施工1周前埋设，测斜管与钻孔之间的空隙，应采用底部返浆法注浆填充密实。

7.4.28 滑坡钻孔光纤监测可监测滑坡体整体或分层变形量、地层温度变化以及坡体体积含水率变化。

7.4.29 滑坡地表裂缝监测可采用裂缝计、拉线式位移计、光纤位移计等方法监测，主要监测裂缝的宽度变化。

7.4.30 无明显裂缝的滑坡根据勘察报告确定的滑坡潜在滑动周界均匀布设拉线式位移计；拉线式位移计一端应固定于滑坡后缘外稳定区域，一端固定于滑坡体上。

7.4.31 滑坡变形应根据监测目的、监测精度、经济条件以及技术条件，参照表4选取监测设备选取。

表4 典型变形监测设备

监测类型	监测设备	设备精度	适用范围
天基监测	全球导航卫星系统 (GNSS)	平面： $\pm (2.5\text{mm}+0.5\times 10^{-6}\text{D})$ 高程： $\pm (5.0\text{mm}+0.5\times 10^{-6}\text{D})$	地表位移监测，短期应急监测，中长期监测
	星载合成孔径雷达干涉测量 (InSAR)	亚厘米级	大范围滑坡变形监测
	高分辨率光学卫星遥感	—	大范围滑坡普查性监测
空基监测	无人机摄影测量 (UAV)	—	表面植被不发育滑坡中长期变形监测
	机载激光雷达测量 (LiDAR)	—	表面植被发育滑坡中长期变形监测
地基监测	智能型全站仪 (测量机器人)	测角精度： $0.5''$ 或 $1''$ ； 测距精度： $1.0\text{mm}+2.0\times 10^{-6}\text{D}$	地表位移监测，短期应急监测，中长期监测
	三维激光扫描	$\pm 5\text{mm}$	地表位移监测，短期应急监测
	地基干涉合成孔径雷达 (GB-InSAR)	毫米级	地表位移监测，短期应急监测
	裂缝计、伸缩仪	0.1%F.S	裂缝监测

深部位移监测	钻孔固定式测斜仪	不宜低于 0.25mm/m, 分辨率不应低于 0.02mm/500m	滑坡体深部位移监测
	阵列式位移计	不宜低于 0.25mm/m, 分辨率不应低于 0.02mm/500m	滑坡体深部位移监测
	滑坡钻孔光纤监测	—	滑坡体深部位移、温度、含水率监测
注1: D指全站仪的测距或GNSS测点到工作基点的距离, 单位为km;			
注2: %F、S指精度与满量程的百分比。			

## 7.5 应力监测

7.5.1 滑坡应力监测应根据滑坡的特点、监测等级、设计施工要求、治理结构措施等综合确定。

7.5.2 滑坡应力监测包括土压力、滑坡推力监测、支挡结构应力监测、锚杆(索)拉力监测等。

7.5.3 滑坡应力监测, 应按下列工作步骤进行:

- 编制监测方案, 设置应力监测点;
- 安装应力监测装置;
- 实施监测, 并记录监测数据;
- 整理应力监测数据, 提出应力监测报告。

7.5.3 应力监测方法选取见表5:

表5 应力监测方法

监测项目	监测目的	监测方法
土压力	监测边坡岩土体内部、抗滑桩或挡墙等支挡结构物背部土压力变化情况	振弦式、电阻式、光纤光栅式土压力传感器
滑坡推力	监测分段滑带层位应力变化, 确定滑带层受力情况	光纤监测法
支挡结构应力、应变	监测挡土墙、抗滑桩等混凝土结构、钢筋的应力和应变	应力或应变传感器法
锚杆(索)拉力	监测锚杆(索)张拉应力	应变、位移测量法

7.5.4 滑坡应力监测点布设应符合下列规定:

- 土压力监测点应根据土层性质、挡土结构特点、施工工艺、荷载条件及作用条件等设置;
- 支挡结构应力监测点宜布设在支挡结构设计计算弯矩最大处;
- 预应力锚索应力监测点数量不宜少于锚索总数的 5%, 且不应少于 3 根。

7.5.5 应力监测仪器主要有土压力传感器、钢筋(索)计、锚索测力传感器等。

7.5.6 土质滑坡内部应力可采用埋入式土压力传感器进行监测, 抗滑桩桩前土压力、挡土墙等支挡结构物土压力可采用界面式土压力传感器进行监测, 土压力传感器埋设于土压力变化的部位, 土压力传感器的埋设间距不宜小于0.6m。

7.5.7 支挡结构应力监测应符合下列规定:

- 支挡结构应力可采用安装在结构内部或表面埋设安装应力计或应变计来测定;
- 应力计或应变计可采用振弦式传感器, 量程不宜低于设计值的2倍, 分辨率不宜低于0.2%F·S, 精度不宜低于0.5%F·S;
- 钢筋混凝土结构宜在钢筋笼制作时, 在主筋上安装应力计; 素混凝土结构宜在浇筑施工时, 在内部埋设混凝土应变计;
- 支挡结构应力监测值应考虑温度变化、混凝土收缩、徐变以及裂缝发展等因素的影响;
- 应力计、应变计埋设前应进行性能检验和编号;
- 应力计、应变计取开挖前连续3d 测定的稳定数据的平均值作为初始值。

7.5.8 锚杆(索)应力监测应符合下列规定:

a) 锚杆(索)内力宜采用钢筋应力计、锚索测力传感器测定,当使用钢筋束作为锚杆时,应分别监测每根钢筋的受力;

b) 锚杆(索)拉力监测点应在施加预应力前布设;

c) 钢筋应力计、锚索测力传感器的量程不宜低于设计值的2倍;

d) 锚杆(索)预应力施加前应测读传感器的初始读数,精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ,分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

7.5.9 滑坡应力监测传感设备选择应符合下列规定:

a) 应力监测设备选型应结合监测项目的特点,依据量程规格、精度要求、运行环境、屏蔽与阻隔等技术要求进行选择;

b) 数据采集装置应具有巡检传感器工作状态的功能,并具有异常报警功能;

c) 监测设备与数据采集器之间的距离不应超过设备的标称传输距离,超出设备传输距离时,应增加数据中继设备;

7.5.10 土压力传感器埋设及使用应符合下列规定:

a) 土压力传感器的测试满量程应大于设计最大压力值的2倍,分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ ,精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ;

b) 土压力传感器埋设之前,宜对土压力传感器进行封闭性检验和标定,检验标定内容包括压力标定、温度标定和初始值标定。

c) 土压力传感器埋设完毕,宜进行检验性观测5次~10次,其中应有3次~5次连续校差在2kPa以下的稳定值。

d) 土压力传感器的埋设应注意回填土性状与周围土体宜保持一致;土压力传感器承压面与结构物表面接触紧密,并保持与应力方向垂直;土压力传感器周边应设置柔性缓冲保护层;连接电缆宜按一定线路集中于观测站,并分别编号;

e) 土压力传感器埋设高程的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ;埋设时有方向要求的传感器安装角度的允许偏差为 $\pm 2^\circ$ 。

7.5.11 钢筋应力计安装及使用应符合下列要求:

a) 钢筋应力计的安装应采用焊接的方式,双面焊的搭接长度为10倍主筋直径,单面焊的搭接长度为20倍主筋直径;

b) 焊接过程中,钢筋应力计温度不应高于 $60^\circ\text{C}$ ,宜采用在钢筋应力计部位包棉纱浇水冷却的方法降低温度;

c) 将锚杆应力计按设计深度与截截的锚杆对接,同时装好排气管;

d) 组装检测合格后,将组装的监测锚杆缓慢地送入钻孔内,应确保锚杆应力计不产生弯曲,电缆和排气管不受损坏,锚杆根部应与孔口平齐;

e) 钢筋应力计入孔后应引出电缆和排气管,装好灌浆管,用水泥封闭孔口;

f) 安装检测合格后,进行灌浆埋设,灌浆应在设计规定的压力下进行,灌至孔内停止吸浆,持续10分钟后结束;

g) 砂浆固化后,测其初始值。

h) 钢筋应力计的安装高程允许误差为 $\pm 100\text{mm}$ 。钢筋计连接杆与钢筋对正错位允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。钢筋计安装平面位置允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ,角度允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。

7.5.12 应变传感器安装及使用应符合下列要求:

a) 安装前应对传感器、信号电缆进行测试,确保设备正常;

b) 应变传感器埋设时应保持仪器正确位置和方向。单向应变传感器的埋设,宜在混凝土振捣后及时于设计位置人工造孔或槽埋设。双向应变传感器的安装时两应变计的方位按设计确定,其轴线应保持垂直,相距 $80\text{mm} \sim 100\text{mm}$ 。

c) 岩体中应变传感器的埋设,可按设计要求,采用硬质联杆连接后,将各传感器串接后埋孔内相应的监测层位上;钢结构应变传感器的安装,当采用焊接方法固定时,应在冷却至常温后安装应变传感器;安装后,宜加保护罩保护。

d) 应变传感器安装层位或坐标与设计值的允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。应变传感器安装角度允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。

7.5.13 锚索测力传感器安装及使用应符合下列要求:

- a) 安装前应对传感器、信号电缆进行监测测试，确保设备正常。传感器在安装前应与其油压千斤顶及其压力表进行联合抽样校准标定，抽样数量不小于10%，如遇有不合格的应增加抽样率。测力传感器和油压千斤顶及其压力表的标定系数应与压力计校准，如有偏差，测力计原系数应修正；
- b) 锚索测力传感器应置于锚板与锚垫板之间，并使三者同轴；
- c) 锚索测力传感器接线，连接电缆过长时，应在一端将电缆屏蔽线接地；
- d) 锚索测力传感器安装就位后，应在加载前读取并记录初始读数。
- e) 锚索（杆）测力计安装时，测力计承载面与锚索（杆）垂直度允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ 。测力计承载孔与锚索（杆）同心度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

## 7.6 地下水监测

- 7.6.1 滑坡稳定性受地下水影响显著时，应进行地下水监测。
- 7.6.2 滑坡地下水监测主要包括地下水位监测、孔隙水压力监测。
- 7.6.3 地下水监测宜采用具有设定采集频率、自动采集、本地存储、无线传输功能的智能监测设备。
- 7.6.4 滑坡地下水监测孔的布设，应控制被监测滑坡监测范围内的地下水分布。
- 7.6.5 滑坡地下水水位监测孔数量应根据滑坡规模、监测等级综合确定，一处滑坡工程不宜少于2个，布置间距宜为20m~50m。
- 7.6.6 滑坡地下水位监测应符合下列规定：
  - a) 布设水位传感器时，应检查传感器的导线和测量用导线连接是否可靠，连接处应采用绝缘胶带仔细包扎，并应检查电源、音响及灯显装置是否正常，测量用导线应做好长度尺寸标记。
  - b) 水位监测数值应以米为单位，并应测记至小数点后3位；
  - c) 自动监测水位仪量测精度不宜低于10mm；
  - d) 每次测量结果应当场核查，出现异常时应及时补测；
  - e) 水位观测管管底埋置深度应在最低设计水位或允许地下水位之下3m~5m。
  - f) 水位管管口高程应高出地面100mm以上并安装保护盖以防地表水及杂物进入。
- 7.6.7 滑坡孔隙水压力应采用孔隙水压力测试孔和孔隙水压力计进行监测，一般竖向间距宜为2m~5m，且每个测试孔每土层不应少于1个测点，监测点总数量不应少于3个。
- 7.6.8 孔隙水压力传感器可选用钢弦式、压阻式、水管式、气压式孔隙水压力计等类型。孔隙水压力计量程上限宜取静水压力和预估的超静孔隙水压力之和的2倍，精度不宜低于0.5%FS，分辨率不宜低于0.2%FS。
- 7.6.9 孔隙水压力传感器安装应符合以下规定：
  - a) 安装前透水石应浸泡饱和，排除透水石中的气泡，安装前透水石应始终浸泡在水中，不应与空气接触；
  - b) 安装前核查传感器的标定数据，读取传感器的初始值；
  - c) 安装前检查导线长度，位于地下的导线中间不宜有接头，导线长度应长于设计深度；
  - d) 采用钻孔法埋设孔隙水压力传感器时，不宜采用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净，钻孔直径宜为110mm~130mm；观测段内宜回填透水材料，并用膨润土封口；
  - e) 当孔内埋设多个孔隙水压力计时，其间隔不宜小于1m，并采取措施确保各个元件间的封闭隔离。

## 7.7 外部环境监测

- 7.7.1 外部环境监测项目应根据滑坡监测等级、现场情况、经济条件等进行综合确定。
- 7.7.2 滑坡外部环境监测项目主要包括降水量、温湿度等。
- 7.7.3 易受降雨影响滑坡或勘察报告分析为存在受降雨诱发滑坡可能的边坡等，宜进行降水量监测。
- 7.7.4 降水量监测包括降雨、降雪、降雹的水量监测，根据需要可量测雪深等。
- 7.7.5 冻土区的滑坡，应进行温度监测。
- 7.7.6 滑坡外部环境监测方法按表6选取。
- 7.7.7 降水量监测设备应选用自动化、智能雨量传感器，包括翻斗式、称重式、轮盘式、虹吸式等类型。
- 7.7.8 降水量监测设备布设及使用应符合下列要求：
  - a) 降水量监测宜设置杆式监测场；
  - b) 雨量传感器应设置在滑坡所在地雨期常年盛行风向的障碍物的侧风区；

- c) 应避免强风区、周围应空旷，不受突变地形、树木及其他建筑物的影响。在多风的高山、山口地区的雨量器，不宜设置杆式雨量器，可根据现场情况布设监测场；
- d) 安装位置至障碍物边缘的距离应大于障碍物高度1.5倍，并应避免电力线路；
- e) 降雨量传感器测量误差不大于±4%，监测记录精度应记至0.2mm；
- f) 降雨量传感器其分辨力应符合监测精度的要求。监测记录和资料整理的记录精度应与仪器分辨力一致。

表6 环境监测项目及方法

监测项目	监测目的	监测方法
降水量	监测降水量变化情况	翻斗式、称重式、轮盘式雨量计、虹吸式雨量计
温湿度	监测边坡土体温湿度变化情况	土壤温湿度传感器

7.7.9 温湿度传感器的测量性能应满足：土壤体积含水量测量范围0%~50%、分辨力0.1%、采样频率1次/min、计算平均时间10min、重复性误差小于0.5%，最大绝对误差小于3%。温度测量范围-30℃~+100℃、分辨力0.1℃、精度±0.5℃。

7.7.10 温湿度监测设备布设及使用应符合下列要求：

- a) 选择长期固定的地段进行监测，该地段对所监测边坡的自然土壤水分状况应具有代表性，监测点边坡排水设施距离大于1.5m；
- b) 监测点选择应对边坡土壤类型、水文条件具有代表性点位；
- c) 监测点避开周围障碍物对监测点附近的降雨、光照等产生影响区域。

## 7.8 图像和视频监测

7.8.1 图像与视频监测系统宜根据监视滑坡的环境照度、安装条件、数据传输和边坡运营管理需求等进行摄像机选型应符合下列规定：

- a) 应具备图像和视频的采集、传输、存储和远程控制功能；
- b) 应具备回放/检索、图像质量诊断、分析、实时浏览、抓图等功能；
- c) 宜配备图像识别、人工智能分析模块；
- d) 应具备夜视功能，可提供白天和夜间实时视频数据；
- e) 摄像机的宽动态能力应大于100dB。

7.8.2 图像与视频监测图像质量应符合下列规定：

- a) 图像分辨率不应低于1920×1080；
- b) 彩色模式图像最低照度不应低于0.1照度，黑白模式不应低于0.01照度；
- c) 图像与视频监测系统显示设备应支持VGA、HDMI等接口，支持网络源直接接入显示。

7.8.3 网络传输与本地录像的视频帧率不应低于25帧/s。

7.8.4 图像与视频监测系统存储设备应符合下列规定：

- a) 支持MPEG-4、H.264、H.265等主流编码格式；
- b) 支持iSCSI、CIFS、NFS、FTP、HTTP、AFP、RSYNC等主流存储协议；
- c) 影像信息资料保存时间不应小于30天。

7.8.5 摄像机应根据现场需求配备加热器、风扇、除霜器、雨刷、遮阳罩等辅助设备，防护罩的防护等级应高于IP66。

7.8.6 图像与视频监测系统供电、防雷应符合下列规定：

- a) 图像与视频监测设备现场供电可采用交流供电或直流供电；
- b) 直流供电宜采用12V或24V，蓄电池容量不低于100AH；
- c) 应采取防止地电位不等对图像干扰的隔离措施。

## 7.9 数据采集和传输、数据库

### 7.9.1 数据采集和传输

7.9.1.1 滑坡智能监测数据包括三类：第一类基础数据，包括监测网（点）布置与建设信息、运行维护信息、监测设备与安装、监测人员信息等；第二类监测数据，包括各类传感器获取的多源监测数据；第三类预警数据，包括对各类监测数据处理后提供的预警数据。

- 7.9.1.2 各类多源监测数据采集、传输与处理应由监测预警平台自动化完成。
- 7.9.1.3 应根据被监测滑坡特点及监测需求选择数据采集设备，并制定数据采集、传感器与数据采集设备接口等架构方案。
- 7.9.1.4 数据采集与传输应提供可靠的数据传输机制，具有丢包重传、数据完整性校验等功能。
- 7.9.1.5 数据采集与传输系统应减少非必要的功能模组，并具有兼容性的可拓展性。
- 7.9.1.6 数据采集与传输包括数据感知与转换、数据采集、远程数据传输三个过程。
- 7.9.1.7 数据采集与传输可采用一体化设备或多个设备组合，基于 HTTP、MQTT、COAP等协议传输至智能监测平台。监测数据通信总体架构图见附录I。
- 7.9.1.8 当被监测滑坡遭受地震、强降雨、工程开挖等事件时，数据采集系统应具有智能加密采集频率功能。
- 7.9.1.9 通信架构、数据格式约定、物联网平台接入、数据传输安全技术要求等应符合DZ/T 0450相关技术要求。
- 7.9.1.10 滑坡监测点分布距离远，较分散时宜采用一体化数据采集方式，监测点相距较近且分布较集中时宜选用现场组网采集方式，或采用两者相结合方式。
- 7.9.1.11 一体化数据采集应满足下列要求：
- 一体化数据采集应采用高度集成化方式构成一体化数据采集传输设备，通过单个设备实现数据感知与转换、采集和远程传输；
  - 体化数据采集设备包含感知传感模块、感知数据转换模块、通信模块和供电与低功耗管理模块；
  - 一体化数据采集传输设备应具有较宽的工作温度范围，工作温度范围应为 $-20^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ；
  - 一体化数据采集传输设备应进行防水防护处理，防护等级不应小于IP67；
  - 一体化数据采集传输设备应采用低功耗设计，电池更换频率不应小于1年。
- 7.9.1.12 现场组网采集应满足下列要求，现场组网采集传输系统架构见附录J。
- 现场组网采集通过有线或无线组网技术进行现场组网通信，由多个设备构成一个现场组网采集传输系统实现数据集中采集、汇聚及传输；
  - 现场组网采集系统应包含数据感知与转换设备、数据采集传输设备和远程数据通信设备；
  - 现场组网采集系统组网方式可采用有线网、窄带无线自组网和宽带无线自组网；
  - 现场组网采集应采用标准化现场通信协议，满足多种不同类型传感器组网接入与数据汇聚，实现现场自组网，具备纠错容错等机制。
- 7.9.1.13 有线网络传输应满足下列要求：
- 传感设备与数据采集传输设备应采用带屏蔽的双绞线构成RS485等数字总线连接组网；
  - 通信线缆应采用单独的线缆或独立屏蔽的线缆与电源线分开布设；
  - 数据感知与转换设备和数据采集传输设备之间应采用“A接A，B接B”的方式连接后并联；
  - 总线在数据采集传输设备处统一接地。
- 7.9.1.14 窄带无线自组网应满足下列要求：
- 窄带无线自组网数据传输应采用星形组网、多跳组网等数据传输方式。
  - 窄带无线自组网工作频段应满足国家无线电频段管理的相关规定的底噪低、干扰少的频段，设备大功率瞬态工作时不应相互干扰。
  - 窄带无线自组网典型单次发射应小于1秒，正常工作模式（非紧急预警）下应减少发射行为。
  - 宽带无线自组网由网关、中继与节点设备组成，具有频段高、带宽大、功耗较高、传输距离较近的特点，视频监控设备等较大数据通信量的设备应采用宽带无线自组网数据传输。
- 7.9.1.15 宽带无线自组网应工作在 2.4G/5.8G 频段，并应满足下列要求：
- 宽带无线自组网的连接应支持全向或定向天线，支持3公里以上长距离数据传输，传输速度大于7Mbps。
  - 宽带无线自组网节点应支持独立智能自动跳频，基站实时扫频，无线信道和发送功率具有自适应调节、支持非对称数据传输能力。
  - 宽带无线自组网应支持双向鉴权，支持国密标准算法，具有对传输数据进行加密能力。
- 7.9.1.16 数据采集传输设备选型应按以下原则进行：
- 数字信号采集设备宜选用基于RS485、Modbus TCP 等的分布式数据采集设备，同时考虑现场组网、纠错容错等机制；
  - 模拟信号采集设备应含多路相互独立的模拟信号输入接口；

c) 数据采集传输设备应具备通讯中断时数据缓存能力，保存不小于7天的数据，通讯恢复以后能补传历史数据；

d) 数据采集传输设备应具备远程控制能力，具有远程配置采集频率、获取历史数据、查看工作日志、查看配置信息等功能；

e) 数据采集传输设备宜具备边缘计算能力，具有监测数据分析，智能判断与设备参数调控能力；在预警等级发生变化时，可自动调节数据上传频率等参数；

f) 数据采集传输设备应支持远程固件升级，在系统部署后可通过管理平台进行远程管理和固件升级；

g) 数据采集传输设备宜具备自识别自组网设备接入、现场扫码接入、远程配置接入等传感器设备接入机制和功能。

7.9.1.17 数据传输包括有线传输和无线传输两种方式，应符合以下要求：

a) 无线网络传输宜优先选用4G/5G信号进行数据传输；

b) 当现场无4G/5G信号的情况下，应考虑采用无线组网方式进行数据传输，信号类型有LoRa、NB-IoT 等；

c) 特殊项目区域数据传输也可考虑采用卫星短报文数据传输、窄带卫星通信传输和宽带卫星通信传输等方式；

d) 有线传输可采用双绞线或者光纤等有线通信介质，采用此种方式进行数据传输时，应做好线缆的防护接地。

## 7.9.2 数据库

7.9.2.1 监测数据库包含基础数据、监测数据、预警业务数据、监测业务数据等，数据库可基于数据交换平台服务解决各级数据异源异构、数据同步时效性差、数据同步和共享的安全性低等问题。

7.9.2.2 数据库的性能应满足下列要求：

a) 数据库应具备高并发请求处理能力；

b) 数据库应具备数据库日常监控与管理控制功能；

c) 数据库应具备资源阈值告警能力；

d) 数据库应采用分布式存储、大容量多样化数据组织与存储管理技术，可实现海量数据的检索、分析、等数据服务；

e) 数据库应具备关键数据的完全备份、基础数据的差异备份、运行数据的增量备份等数据灾备系统；

f) 数据库应具备自动备份能力，备份周期不大于7天，备份文件存储时间不小于90天。

7.9.2.3 应根据数据库物理设计方案，将数据库建设所选择的硬件和软件进行有机集成。硬件网络化集成应确保网段与网址合理分配、权限分级设置、硬件互联互通和资源有效共享等；软件系统的集成应确保所选择的操作系统、数据库管理系统、专业软件系统等能够发挥各自的效能，并形成有机整体。

7.9.2.4 应根据系统的功能设计进行软件开发，实现数据库管理、维护与分发等功能，包括日志管理、用户管理、视图管理、数据的导入导出、查询与检索等模块，并能将不同的功能模块进行集成，形成不同的子系统和系统。

7.9.2.5 数据库测试应包含编写测试大纲、明确测试项目、测试方法与步骤、编写测试报告等步骤，数据库在系统测试后，应根据测试报告针对设计目标的完成情况作整体性评价。

7.9.2.6 数据库应根据设计要求按照相应的验收流程进行验收，验收依据应包括数据库建库任务书、委托检验文件、数据库建库技术设计书、有关技术规定和标准以及测试报告等。

## 7.10 数据处理分析与预警

7.10.1 数据分析包括数据处理、安全预警和评估。

7.10.2 监测数据处理应由监测预警平台数据处理模块自动完成。

7.10.3 数据处理分析与预警系统应符合以下要求：

a) 应采用松耦合、标准化、高复用的软件架构；

b) 应具有可扩展性，并选用成熟可靠、兼容性强的基础构件和应用中间件；

c) 应具备数据校验、清洗功能，以保证数据质量；

d) 宜具备自动生成监测数据报告功能。

7.10.4 数据处理模块应具备数据的预处理和后处理能力，预处理应对监测数据进行去噪、滤波、异常剔除等处理，后处理应根据数据分析需求确定。

7.10.5 监测数据分析与处理应符合下列要求：

a) 数据处理模块应能智能实时根据变形监测数据得出位移量、变形方向、位移速率、应力、应变变化等关键参数；

b) 监测数据智能分析应利用历史监测数据，结合数据挖掘、深度学习等人工智能算法建立边坡监测数据预测模型，判断监测数据变化趋势。

c) 数据分析模块应智能生成变形时程曲线、运动时程曲线等，并进行时序和相关分析。

7.10.6 监测数据分析模块应提供以下内容：

a) 地表位移监测数据分析应包含水平位移或垂直位移历时曲线图等；

b) 深部位移监测数据分析应包含深部位移累计变形量与深度关系曲线图、深部位移变化率与深度关系曲线图等；

c) 应力应变监测数据分析应包含应力应变历时曲线图等；

d) 地下水监测数据分析应包含地下水位历时曲线图、土体含水率历时曲线图、孔隙水压力历时曲线图等；

e) 环境监测数据分析应包含降雨量历时曲线图、岩土体含水率历时曲线图等。

7.10.7 滑坡预警等级分为一级、二级、三级、四级，分别对应地质灾害风险极高、风险高、风险较高和风险一般等不同程度，依次用红色、橙色、黄色、蓝色标识。具体如下：

a) 红色预警（警报级）：滑坡灾害发生的可能性很大，各种短临前兆特征显著，在数小时大规模发生的概率很大；

b) 橙色预警（警戒级）：滑坡灾害发生的可能性大，有一定的宏观前兆特征，在几天内大规模发生的概率大；

c) 黄色预警（警示级）：滑坡灾害发生的可能性较大，有明显的变形特征，在数周内大规模发生的概率较大；

d) 蓝色预警（注意级）：滑坡灾害发生的可能性小，系统监测数据表现有一定变化。预警响应、实施与反馈。

7.10.8 滑坡预警等级应根据监测数据、宏观变形等分析后动态调整，并符合下列规定：

a) 监测数据分析或宏观变形显示滑坡变形加速，变形失稳前兆明显，宜提高预警等级；

b) 监测数据分析或宏观变形显示滑坡变形趋于平稳，无新增明显变形迹象，或治理后变形趋于平稳，宜降低预警等级或者解除预警。

7.10.9 滑坡预警指标主要包括变形指标、降雨指标以及宏观变形指标等，具体为：

a) 变形指标包括变形量、变形速率、变形加速度、切线角等；

b) 降雨指标包括日降雨量、累积降雨量、有效降雨量、变形量-降雨关系等；

c) 宏观变形指标包括裂缝配套分析、变形特征综合分析等。

7.10.10 滑坡预警宜以变形和降雨关键预警指标开展智能预警，分单指标预警和多指标综合预警。

7.10.11 应根据滑坡类型、监测内容、监测数据、安全等级、滑坡稳定性分析综合确定合理的预警阈值。

7.10.12 滑坡预警模型应根据宏观变形、智能监测和降雨量监测综合研判变形量、变形速率及加速度等监测结果确定预警模型，建立四级预警的预警指标。预警结果应根据不同类型的预警指标综合判定。

7.10.13 监测预警信息发布包括预警平台推送、电话、微信、网络、短信等方式，宜先通过短信、APP通知、自动语音电话等快捷方式进行预警信息的报送给主管部门，再报送纸质预警函件。

7.10.14 各级预警级别响应措施可按以下规定执行：

a) 蓝色预警发出后，监测单位应持续关注预警系统监测数据；

b) 黄色预警发出后，监测单位应加强监测数据分析，必要时到现场开展核查并加强分析研判，并将相关情况及时上报相关单位；

c) 橙色预警发出后，监测单位应第一时间分析监测数据并开展短临预警，预测发展趋势；应及时赶赴现场对宏观迹象进行巡查，加强对宏观变形迹象的监测，并将相关情况及时上报相关单位；

d) 红色预警发出后，监测单位第一时间分析监测数据，开展临灾预警，预测发展趋势；应第一时间赶赴现场对宏观迹象进行巡排查，加强宏观变形监测及短临前兆监测，开展临灾预警，根据现场宏观变形等实际情况判定是否提前组织危险区群众进行转移。应第一时间相关将情况及时上报相关单位。

## 7.11 质量控制

7.11.1 滑坡监测方案编制应通过专项技术审查并经相关单位审查确认后方可实施。

7.11.2 滑坡监测设备进场后，应进行现场验收，现场布设完成后，应对照监测方案及相关规定进行验收。验收内容包括以下内容：

- a) 应检查监测设备类型、数量、安装位置及方式等是否符合监测方案要求；
- b) 应检查监测设备安装记录表、资料归档、后续维护人员等信息；
- c) 应检查监测设备工作状态，各部分组件安装是否齐全；
- d) 应检查监测数据采集的实时性、准确性及完整性。

7.11.3 滑坡监测预警系统布设完成交付前应进行试运行，试运行期结束后，应开展系统验收工作，验收内容包括以下内容：

- a) 采集传输设备参数、进场检查记录、抽样测试（设备、软件等测试报告、二级系统连通测试报告）；
- b) 安装调试报告记录；
- c) 系统功能是否满足设计要求；
- d) 监测方案、软件操作手册、硬件维护手册等。

7.11.4 滑坡监测成果内容检查包括以下内容：

- a) 监测数据的完整性，真实性；
- b) 监测数据分析的合理性，准确性；
- c) 监测报告内容的完整性，结论的准确性。

## 7.12 成果编制

7.12.1 监测成果包括监测预警成果总结报告、阶段性报告数据附表、监测专题图件和各阶段简报等相关文件，所有资料成果应提供数字化成果。

7.12.2 监测成果中的监测数据图表、曲线应由监测预警系统自动化生成，监测成果应真实、准确、完整并及时报送。

7.12.3 监测成果报告内容包括但不限于前言、项目概况、编制依据、组织实施情况、检查验收情况、实施效果情况、结论与建议、监测成果及附件等内容。

7.12.4 监测工作进行中，应根据变形发展情况及时提交阶段报告。监测工作结束后，监测成果应及时总结归档并提交相关单位。

## 8. 证实方法

### 8.1 一般规定

8.1.1 滑坡智能识别与监测应建立成果证实与可追溯机制，对数据获取、数据处理、成果精度与分析结论进行证实，确保识别与监测预警成果真实、可靠、可复核。

8.1.2 证实工作应覆盖数据获取、数据处理、智能识别与监测过程、现场核查、数据库建设、成果分析全过程。

8.1.3 证实方法可采用人工或人机结合方式。

### 8.2 智能识别

8.2.1 滑坡识别数据证实应以检查记录和文档化报告为主要方式，应贯穿于智能识别全流程。

8.2.2 滑坡识别技术方案证实应通过方案评审进行证实。

8.2.3 滑坡识别结果可采用多种识别方法交叉验证，并在报告中说明验证方法及产生差异原因。

### 8.3 智能监测

8.3.1 滑坡系统设计、监测方案证实应通过方案评审进行证实。

- 8.3.2 监测数据成果应通过日报、周报、季报、年度报告、最终成果报告进行证实。
- 8.3.3 监测数据质量应通过质量控制措施文件、评估报告进行证实。
- 8.3.4 监测结果可采用多种识别方法交叉验证，并在报告中说明验证方法及产生差异原因。
- 8.3.5 监测预警系统可通过测试报告、操作手册进行证实。

## 附录 A

(资料性)

### 滑坡识别各类技术流程

A.1 卫星光学遥感滑坡识别流程见图 A.1。

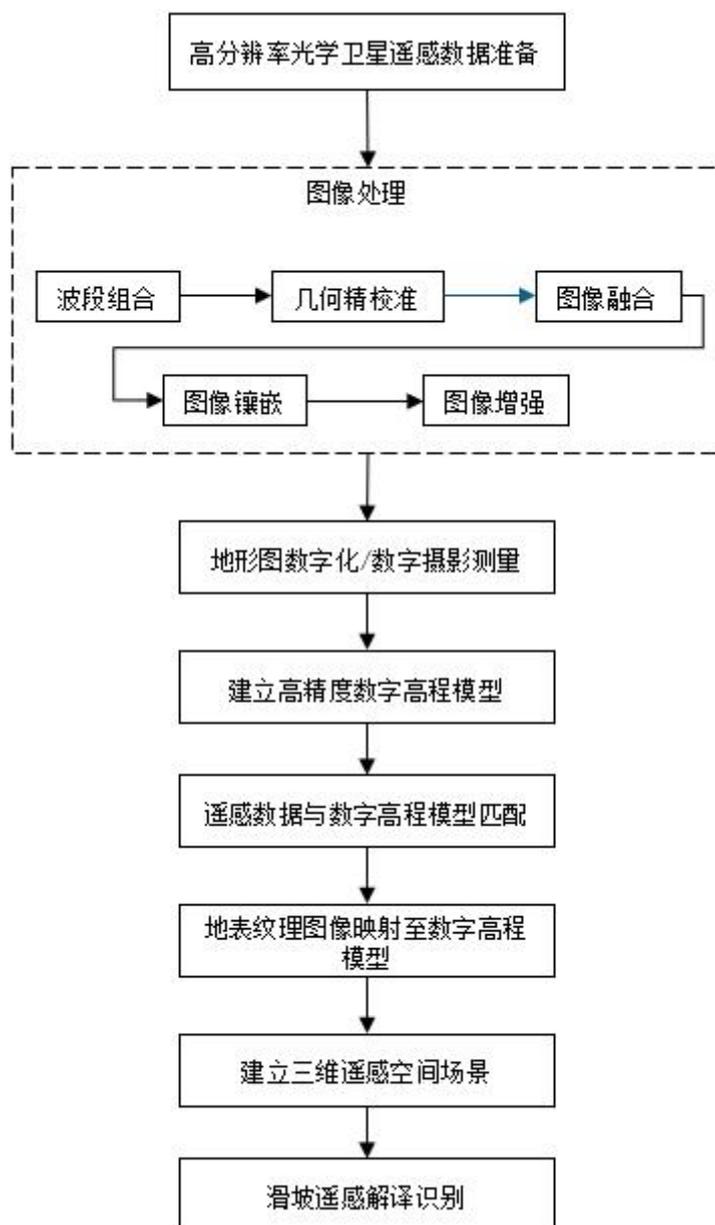


图 A.1 卫星光学遥感滑坡识别流程

A.2 无人机实景三维建模流程见图 A.2。

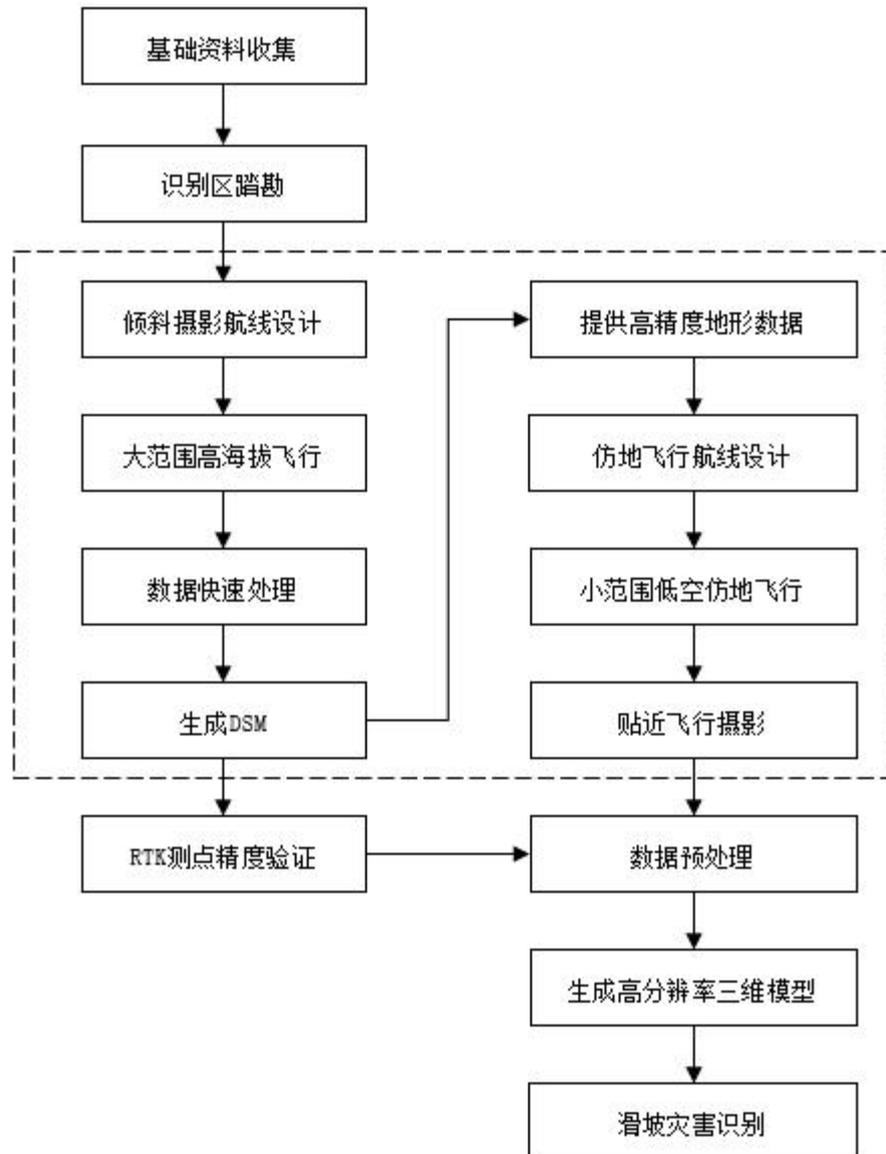


图 A.2 无人机实景三维建模流程

A.3 机载激光雷达识别滑坡流程见图 A.3。

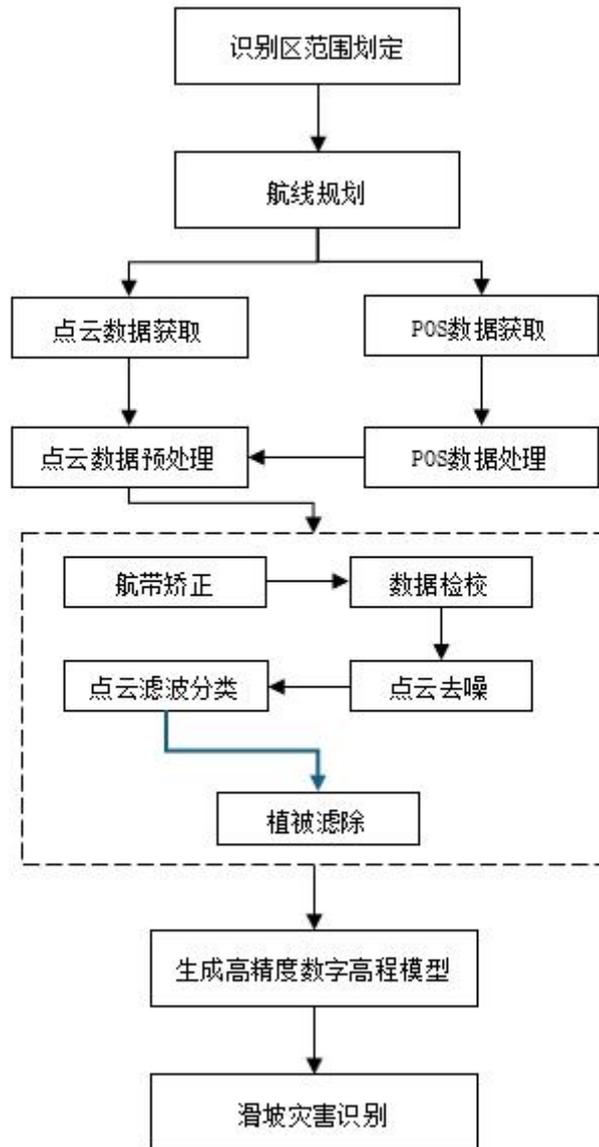


图 A.3 机载激光雷达识别滑坡流程

A.4 综合遥感识别滑坡技术流程见图 A.4。

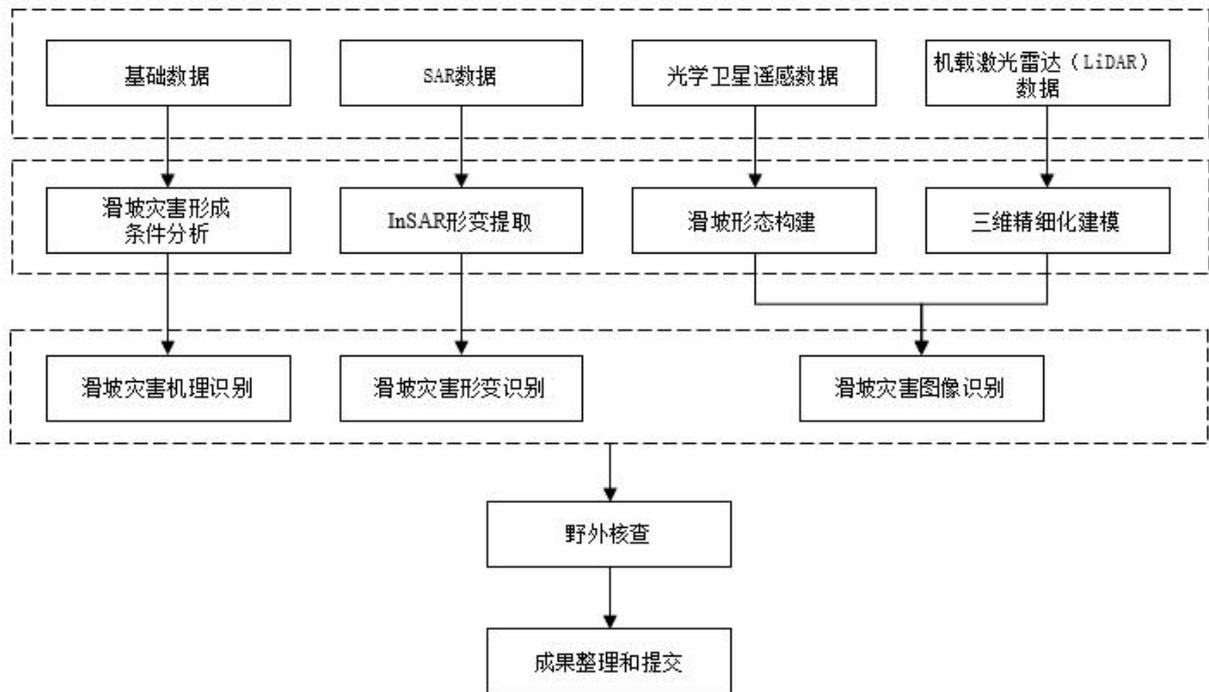


图 A.4 滑坡综合遥感识别技术流程

## 附录 B

(资料性)

## 滑坡遥感影像识别解译标识

滑坡遥感影像识别解译标识见表 B.1 所示。

表 B.1 滑坡遥感影像识别解译标识

项目	识别解译标志
地貌形态	<p>滑坡周界平面形态呈圈椅形、椭圆形、舌形、葫芦形、倒勺形等；有较明显滑坡壁形成的围谷；影像上显示后缘向高处弯曲呈弧形，滑体较周围斜坡显得凹陷低矮且起伏不平，滑体前部伸出山前缓坡或盖在河滩阶地上，成为明显的舌状或垄状隆起、鼓丘。较大型滑坡坡面一般有滑坡台阶或在 2 个台阶之间有反坡和封闭洼地，沟渠、道路突然错断或改变方向。已稳定滑坡，表面较平顺，台阶宽大，有居民点及耕地。新滑坡，滑坡要素特征清晰，有新鲜感。</p>
影响色调	<p>滑坡体与周围山坡背景呈截然不同的浅色调与暗色调，影像显均匀或不均匀的斑点状。较新的滑坡往往呈比背景浅的灰、灰白色调。古(老)滑坡体多数为暗色或深色调，滑坡壁面上长有植被时，呈花斑状深色影像，无植被生长则呈灰、灰白色栅状影像。</p>
地质现象	<p>滑坡体坡面有时可见弧形裂缝。滑坡舌伸入河床，其前缘受水流冲刷，坍塌或挤压河流向外凸出，形成向外弯曲的河段。地下水从滑坡体前缘溢出，构成湿地，图像上呈斑点暗色影像。层状岩层出现层序中断、不连续现象，岩层产状与周围不一致。滑坡体两侧有深切沟谷呈双沟同源</p>

## 附录 C

(资料性)

## 滑坡野外识别标志特征

滑坡野外识别标志特征见表 C.1 所示。

表 C.1 滑坡野外识别标志特征

名称	标志特征
古老滑坡	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圈椅状地貌，即背后靠山，并有明显陡坡地段，左右两侧为两条山梁，中间围出一块缓坡地，外形象圈椅的地貌；</li> <li>2. 坡面杂乱无规则，分布有“醉汉林”、“马刀树”现象，地表散落较多块碎石；</li> <li>3. 双沟同源地貌，沟间距离约数十米至数百米，沟源相连呈钳形，沟间山坡多呈上、下陡而中部缓的鼻形斜坡地形；</li> <li>4. 自然坡底河岸为圆顺的凹岸，突然有一小部分向河床中凸出，且凸出地段杂乱堆积大块孤石；</li> <li>5. 坡体岩土体有扰动或翻转现象，岩层产状与后部陡坎以上以及两侧沟谷以外基岩不一致，但周围基岩产状基本相符，或者局部范围新老地层倒置；</li> <li>6. 舒缓状坡体上方分布有积水洼地，在陡坎坡脚与缓坡或台地交界区域，形成大小不等的四周高、中间低的封闭洼地，形成积水坑甚至湖泊；</li> <li>7. 坡体前缘有泉水渗出，在斜坡下部陡坡地段大致沿等高线连续分布串珠状渗水点或泉眼；</li> <li>8. 坡脚临空面或依附下部陡坡临空面，连续平行发育多个规模不一的滑坡，形成滑坡群。</li> </ol>
新生滑坡	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 山坡呈明显的圈椅状地貌，有较陡的后壁，坡面不顺直是台阶状；</li> <li>2. 后缘常见双沟同源的封闭洼地或主轴断面上的坡面洼地，有时可形成水塘；</li> <li>3. 前缘呈舌状凸出，侵占或挤压沟(河)床，坡面常见放射状和环状张裂隙；滑坡脚常出露泉水或湿地，两侧地层有扰动或不连续现象。</li> </ol>

## 附录 D

(资料性)

## 滑坡识别现场核查记录表

滑坡识别现场核查记录表示例见表 D.1 所示。

表 D.1 滑坡识别现场核查记录表

识别编号		现场核查编号	
地理位置		地理坐标	
孕灾环境	填报要求包括但不限于：地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件、人类工程活动等孕灾地质环境以及地表覆盖、植被情况、滑坡成因等情况		
滑坡发育特征			
现场变形迹象			
诱发因素			
威胁对象			
发展趋势			
现场照片			
检查人		检查时间	
检查单位			

## 附 录 E

(资料性)

## 滑坡监测方案编制大纲目录

滑坡监测方案编制大纲目录示例见表 E.1:

表 E.1 滑坡监测方案编制大纲目录

1. 工程概况
1.1 项目概况
1.2 监测对象及范围
1.3 工程地质、水文地质及周边环境条件
2. 监测目的和依据
2.1 监测目的
2.2 监测依据
3. 监测等级、内容、方法
3.1 监测等级
3.2 监测内容
3.3 监测方法
4. 智能监测系统
4.1 监测仪器设备
4.2 数据采集、传输与发布
4.3 智能预警方案
4.4 供电防雷及防护方案
4.5 系统维护
5. 监测工作布置
5.1 监测布置
5.2 监测精度
5.3 监测周期
5.4 监测频率
5.5 监测工作量
6. 监测预警方案及应急措施
6.1 监测预警方案
6.2 应急措施
7. 监测人员及组织
8. 安全生产措施
9. 监测资料整理与信息反馈

附录 F

(资料性)

滑坡“天-空-地”协同监测体系框架

E.1 滑坡“天-空-地”协同监测体系框架见图 F.1 所示：

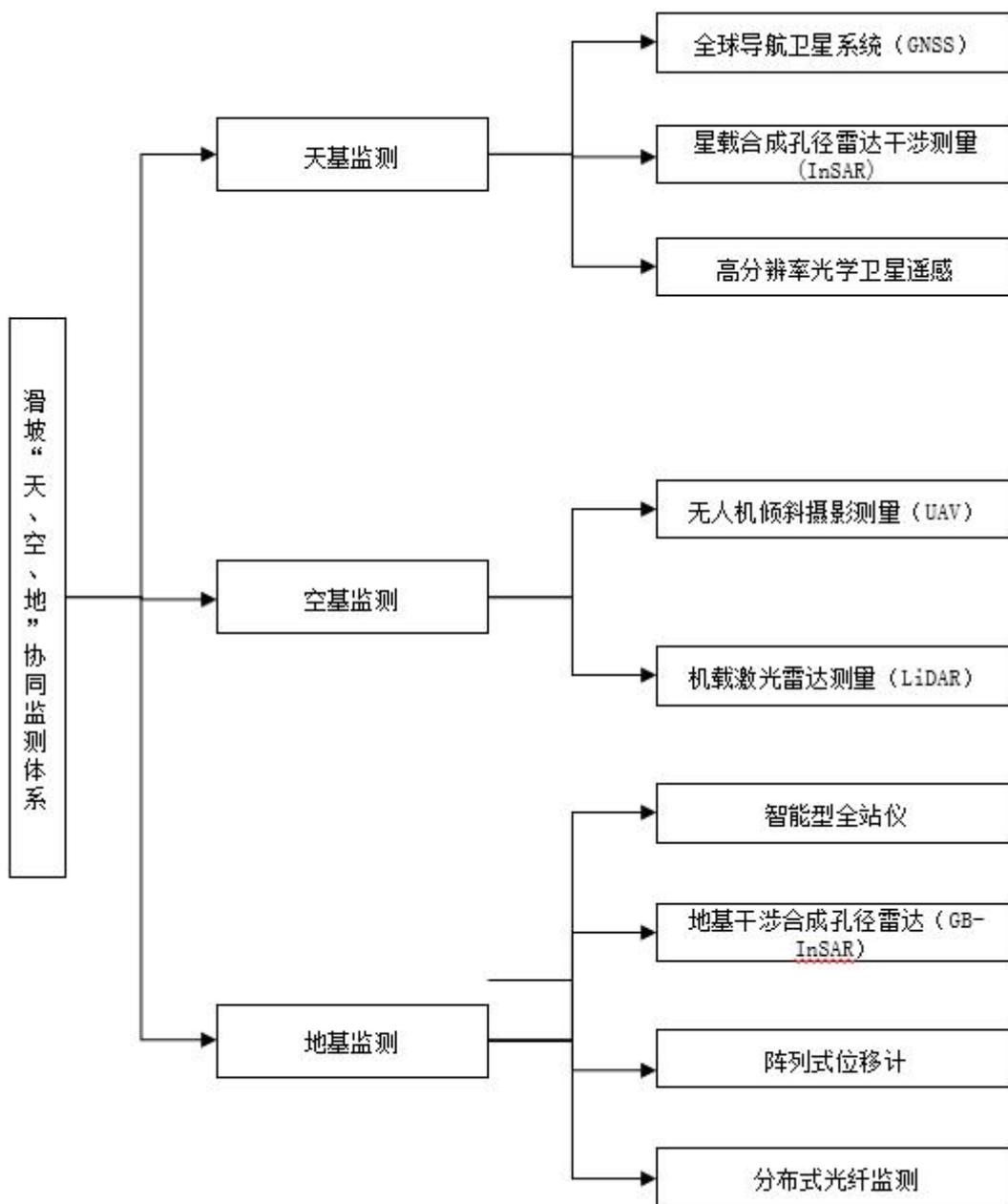


图 F.1 滑坡“天-空-地”协同监测体系框架

## 附录 G

(规范性)

无人机摄影测量航摄平面中误差、高程中误差、DOM 地面分辨率要求

G.1 无人机摄影测量航摄平面中误差见表 F.1 所示:

表F.1 无人机摄影测量航摄平面中误差要求

单位: m

比例尺	1:500		1:1000		1:2000	
地形类别	平地、丘陵	山地、高山	平地、丘陵	山地、高山	平地、丘陵	山地、高山
地物点	0.6	0.8	1.2	1.6	2.5	3.75

G.2 无人机摄影测量航摄高程中误差见表 F.2 所示:

表F.2 无人机摄影测量航摄高程中误差要求

单位: m

比例尺		1:500				1:1000				1:2000			
地形类别		平地	丘陵	山地	高山	平地	丘陵	山地	高山	平地	丘陵	山地	高山
基本等高距		1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.5	2.5	5.0	5.0
中误差	注记点	0.5	0.5	0.7	1.5	0.5	0.5	1.2	1.5	1.2	1.2	2.5	3.0
	等高线	0.7	0.7	1.0	2.0	0.7	0.7	1.5	2.0	1.5	1.5	3.0	4.0

G.3 无人机摄影测量 DOM 影像地面分辨率见表 F.3 所示:

表F.3 无人机摄影测量DOM影像地面分辨率要求

单位: m

比例尺	1:500	1:1000	1:2000
地面分辨率	0.05	0.1	0.2

## 附录 H

(规范性)

## 机载激光雷达设备选型、高程中误差、航飞影像质量、数据成果要求

H.1 机载激光雷达设备选型见表H.1所示:

表H.1 机载激光雷达设备选型

地形类别	激光有效测距/m	可回波次数/次	激光测距精度/m
平原	≥200	≥3	≤0.05
丘陵	≥920	≥3	≤0.05
山地	≥1350	≥4	≤0.1
高山地	≥1800	≥4	≤0.1

H.2 机载激光雷达测量高程中误差见表H.2所示:

表H.2 机载激光雷达测量高程中误差

地形类别	比例尺		
	1:500	1:1000	1:2000
平坦地	0.15	0.20	0.30
丘陵地	0.30	0.40	0.40
山地	0.40	0.60	1.00
高山地	0.60	1.20	1.20

H.3 机载激光雷达航飞影像质量见表H.3所示:

表H.3 机载激光雷达航飞影像质量

调查比例尺	地形类别	影响分辨率/m	平面位置中误差/m
1:500	平原、丘陵	0.05	0.3
	山地、高山地	0.05	0.4
1:1000	平原、丘陵	0.1	0.6
	山地、高山地	0.1	0.8
1:2000	平原、丘陵	0.15	1.2
	山地、高山地	0.15	1.6
1:5000	平原、丘陵	0.2	2.5
	山地、高山地	0.2	3.7
1:10000	平原、丘陵	0.2	6
	山地、高山地	0.2	7.5

H.4 DOM、DEM数据成果要求见表H.4所示:

表H.4 DOM、DEM数据成果要求

调查比例尺	数字高程模型网格间距/m	数字正射影像图地面分辨率/m
1:500	0.5	0.1
1:1000	1.0	0.1
1:2000	2.0	0.2
1:5000	2.5	0.2
1:10000	5.0	0.2

附录 I  
(资料性)

监测数据通信总体架构

监测数据通信总体架构见图 I.1 如下所示：

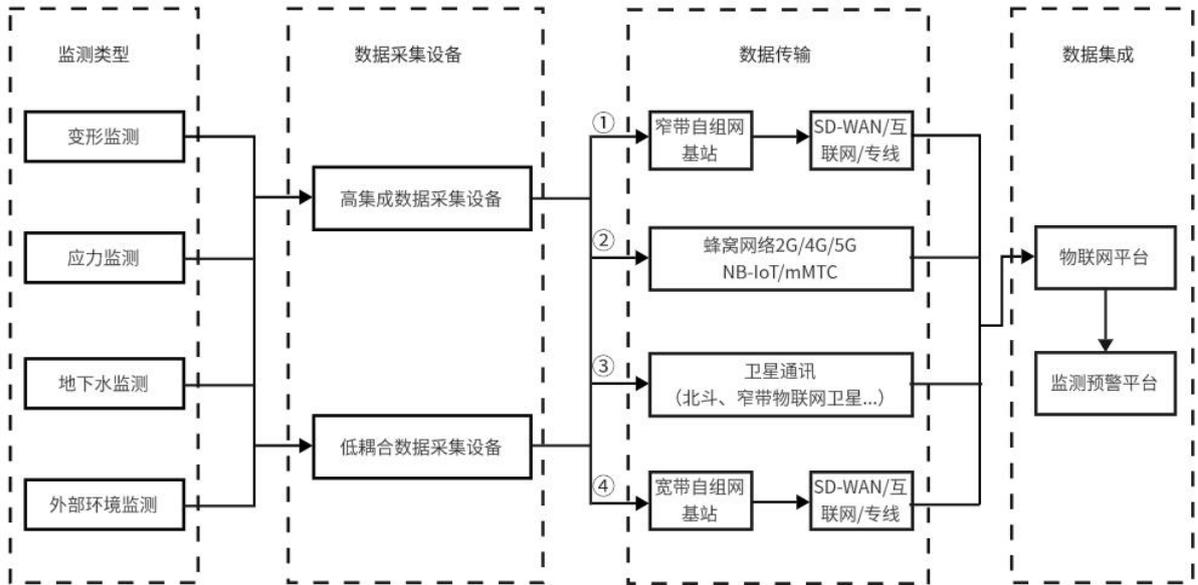


图 I.1 监测数据通信总体架构

附录 J

(资料性)

现场组网采集传输系统架构

现场组网采集传输系统架构见图 J.1 所示：

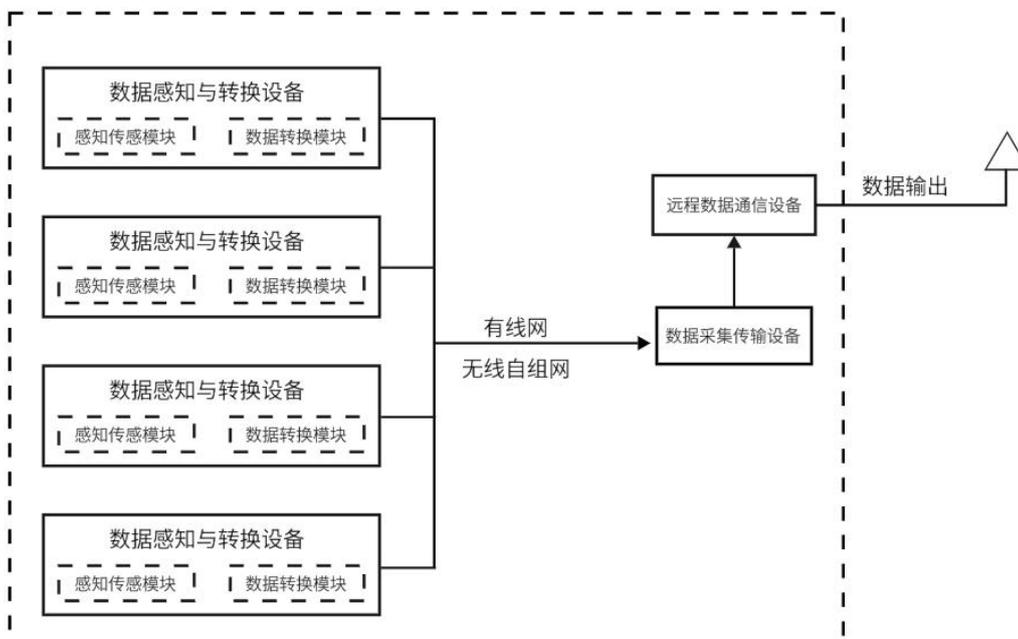


图 J.1 现场组网采集传输系统架构

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 15406-2007 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件
  - [2] GB/T 18185-2014 水文仪器可靠性技术要求
  - [3] GB/T 20271-2006 信息安全技术-信息系统通用安全技术要求
  - [4] GB/T 21978.2-2014 降水量观测仪器 第2部分：翻斗式雨量传感器
  - [5] GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
  - [6] GB/T 32864-2016 滑坡防治工程勘查规范
  - [7] GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范
  - [8] GB 55018-2021 工程测量通用规范
  - [9] JTG/T 3334—2018 公路滑坡防治设计规范
  - [10] T/CSGPC 051—2025 低空遥感地表覆盖变化检测规程
-