

TB

团 体 标 准

T/CSGPC XXX—20XX

# 地质灾害地基干涉雷达形变监测技术规范

Technical specification for deformation monitoring of ground-based  
interferometric radar for geological hazards

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2025 年 9 月 25 日）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布

T/CSGPC XXX—20XX

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

    5.1 监测工作 ..... 3

    5.2 监测类型 ..... 3

    5.3 精度与频率 ..... 3

    5.4 监测条件 ..... 3

    5.5 时空基准 ..... 3

    5.6 证实方法 ..... 4

    5.7 工作流程 ..... 4

6 技术准备 ..... 5

    6.1 需求分析 ..... 5

    6.2 资料收集 ..... 5

    6.3 地质背景分析 ..... 5

    6.4 技术设计书编写 ..... 5

7 监测站点选址和建设 ..... 6

    7.1 监测站点选址 ..... 6

    7.2 监测站点建设 ..... 7

8 数据获取 ..... 7

    8.1 设备选型 ..... 7

    8.2 监测 ..... 7

    8.3 监测成果与记录 ..... 8

9 数据处理 ..... 9

    9.1 一般规定 ..... 9

    9.2 准备工作 ..... 9

    9.3 数据处理作业 ..... 9

    9.4 数据处理成果 ..... 10

    9.5 精度评定 ..... 10

10 成果分析 ..... 10

    10.1 综合分析要素 ..... 10

    10.2 综合分析内容 ..... 11

    10.3 综合分析方法 ..... 11

11 成果验收与提交 ..... 11

    11.1 成果验收要求 ..... 11

    11.2 成果提交材料 ..... 11

附录 A（资料性）监测点记录表 ..... 12

附录 B（资料性）监测站点示意图 ..... 13

附录 C（资料性）监测手簿记录及有关要求 ..... 15

T/CSGPC XXX—20XX

附录 D（资料性）成果报告提纲 .....	17
参考文献 .....	18

## 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

近年来，地基干涉雷达设备日趋成熟，其应用领域不断拓展，在地质灾害形变监测中发挥的作用愈发重要。地基干涉雷达与星载合成孔径雷达（SAR）原理相似，作为一种主动式微波遥感技术，不仅具备高频率采样能力，且相较于高精度全站仪测量、水准测量、全球导航卫星系统（GNSS）位移监测及加速计等手段，可实现非接触式、大面积连续实时监测，有效保障测量人员生命安全与测量仪器完好。

目前，地基干涉雷达种类多样，操作方式及数据处理软件要求存在差异。为确保监测数据的一致性与可比性、提升监测结果的准确性与可靠性、促进行业标准化与技术推广、强化安全保障与风险防控，本文件对现有地基干涉雷达的使用方法及数据处理流程进行总结，规范其在地质灾害形变监测各环节的技术要求。

# 地质灾害地基干涉雷达形变监测技术规范

## 1 范围

本文件规定了地质灾害地基干涉雷达监测中的基本要求和技術准备、监测站点选址和建设、数据获取、数据处理、成果分析、成果验收与提交等内容，描述了对应的证实方法。

本文件适用于利用地基干涉雷达进行滑坡、崩塌、裂缝、地面塌陷等地质灾害形变监测工作。

## 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 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 15968 遥感影像平面图制作规范

GB/T 17694 地理信息术语

GB/T 32874 机载InSAR系统测制1:10 000 1:50 000 3D产品技术规程

GB 50026 工程测量标准

DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范

DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查技术规范（1:50000）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地质灾害** geological hazard

在自然或者人为因素的作用下形成的，对人类生命财产造成损失、对环境造成破坏的地质作用或地质现象。

注：本文件中的地质灾害主要包括滑坡、崩塌（危岩体）和地面塌陷。

### 3.2

**形变监测** deformation monitoring

运用各种技术和方法，测量地质灾害活动以及各种诱发因素动态变化的工作。

### 3.3

**干涉测量** interferometry

根据地基干涉雷达在不同位置或者同一位置获取同一地区监测数据的相位差实现地表形变信息及其变化。

### 3.4

#### 配准 co-registration

对同一地区不同时相所获得的雷达复数图像,经几何变换使其同名点在空间位置对应同一地面目标的处理方法。

[来源: GB/T 32874-2016, 3.1.9, 有修改]

### 3.5

#### 视线向 line of sight; LOS

指雷达的观测方向,是垂直于雷达平台运动方向(或等效阵列方向)的雷达脉冲发射方向。

### 3.6

#### 地理编码 geocoding

通过建立SAR影像像素与地面点的空间映射关系,将雷达坐标系下的形变或DEM等干涉处理结果转换到地理坐标系或投影坐标下,为实现数据的地理空间定位与分析。

### 3.7

#### 相干系数 coherence coefficient

取值为两幅SAR复图像配准区域中对应像素的相位相关系数,用于衡量两幅SAR复图像对应像素的相位相关程度和干涉图的质量。

[来源: GB/T 32874-2016, 3.1.10, 有修改]

注: 其值域为[0, 1]

### 3.8

#### 振幅离散指数 amplitude dispersion index

用于衡量观测目标的后向散射系数在时间序列中的稳定性,通过时间序列SAR影像中每个像元的振幅标准差除以振幅平均值获取。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件:

CGCS2000: 2000国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000)

DEM: 数字高程模型(Digital Elevation Model)

GNSS: 全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)

GIS: 地理信息系统(Geographic Information System)

GB-InSAR: 地基合成孔径雷达干涉测量(Ground-based Interferometric Synthetic Aperture Radar)

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

LOS: 视线向(Line of Sight Direction)

MIMO: 多输入多输出(Multiple-Input Multiple-Output)



## 5 基本规定

### 5.1 监测工作

地质灾害形变监测工作包括以下内容：

- a) 监测站选址与建设；
- b) 数据获取与处理；
- c) 变形监测结果精度评价及质量控制；
- d) 地灾识别和监测结果的综合验证；
- e) 地质灾害发育规律和灾害体稳定性分析。

### 5.2 监测类型

#### 5.2.1 常规监测

对潜在地质灾害隐患区域进行持续、长期的位移变化监测，掌握地质体变形的长期趋势，识别地质灾害隐患点，评估地质灾害发生的可能性及危险性，为地质灾害防治规划提供基础数据。

#### 5.2.2 应急监测

在地质灾害高发期、极端天气条件下或发现地质体出现明显变形迹象时，对特定地质灾害隐患区域进行高密度、高频率的实时监测，及时捕捉地质体的快速变形信息，实现地质灾害临灾预警，为应急避险和抢险救灾提供准确的决策依据。

### 5.3 精度与频率

#### 5.3.1 监测精度

监测精度要求如下：

- a) 应急监测中监测精度宜优于 1mm/h；
- b) 常规监测中监测精度宜优于 1mm/天；

#### 5.3.2 监测频率

监测频率要求如下：

- a) 应急监测一般为 15 天左右。应采用高频次昼夜监测模式，数据采样间隔宜小于 2min；
- b) 常规监测监测时间应大于 0.5 年，数据采样间隔宜大于 30min。

### 5.4 监测条件

监测条件要求如下：

- a) 雷达与监测目标区域之间需保持通视，避免高大建筑物、茂密森林、陡峭地形遮挡；
- b) 适用于监测面状或准面状形变，而非孤立的点状或线状形变；
- c) 雷达站附近或波束路径上避免有强电磁辐射源，如大功率雷达、无线电发射塔等；
- d) 雷电、风暴天气时，不宜进行常规监测。

### 5.5 时空基准

5.5.1 平面基准采用 2000 国家大地坐标系，当采用其他坐标系统，应与 CGCS2000 建立明确的转换关系。

5.5.2 高程基准采用 1985 国家高程基准。

5.5.3 时间基准采用公元纪年，北京时间。

5.6 证实方法

监测站点建设以下列方法证实：

监测站点建设完成后，宜采用 GNSS 测量或水准测量等方法验证站点稳定性，测量结果可作为站点建设质量的证实依据。

5.7 工作流程

利用地基干涉雷达技术开展地质灾害监测的工作流程主要包括技术准备、监测站点选址和建设、地基干涉雷达数据获取、数据处理、数据处理成果分析、成果验收与提交六部分，流程见图 1。地质灾害隐患的调查、测绘和勘察的其他要求及注意事项，应符合 DZ/T 0261 第 5、6、7、8、9、10 章节和 DZ/T 0221 第 6、7 章节。

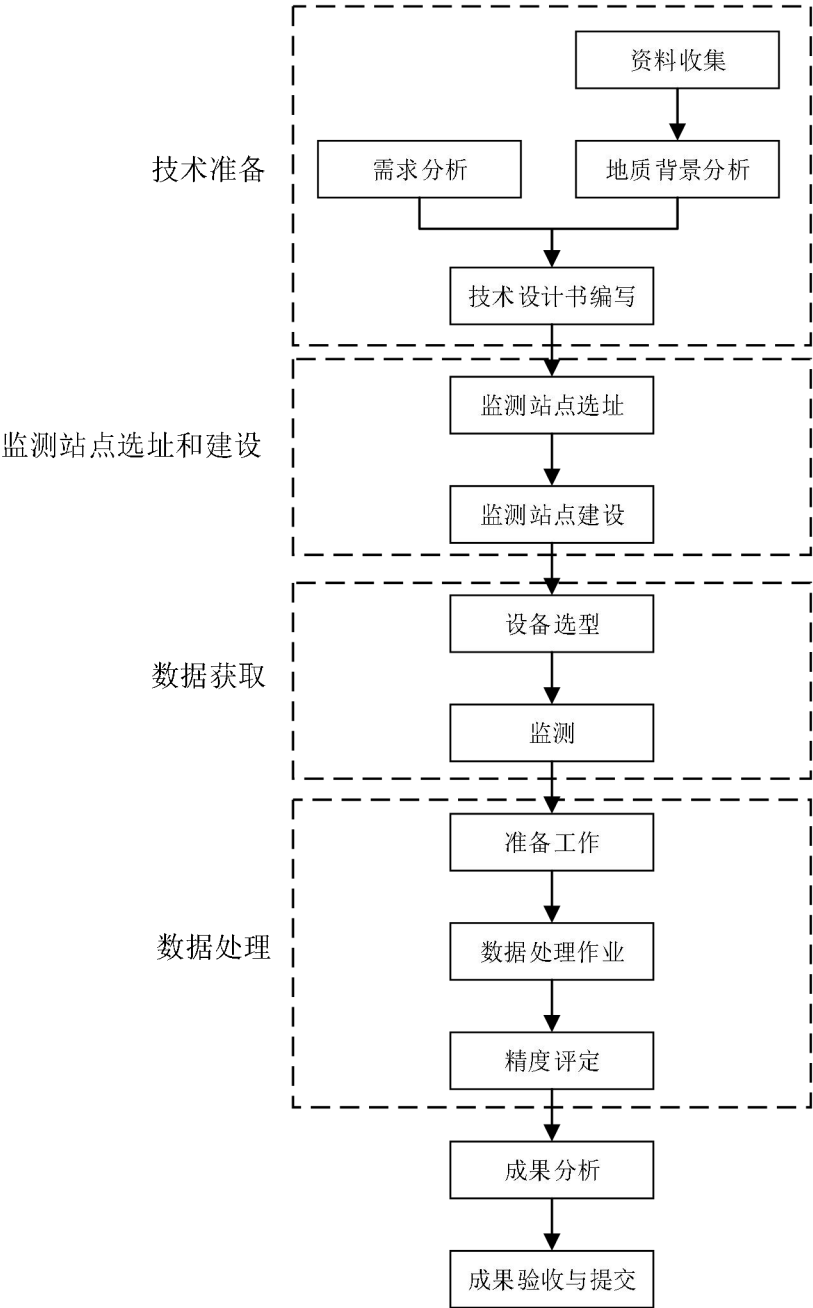


图 1 地基干涉雷达监测工作流程

## 6 技术准备

### 6.1 需求分析

工作初期应明确地基干涉雷达监测拟获取的形变信息（如覆盖区域、变形量、位移方向、变形范围、变形速率等）、精度要求、成果表达形式及需解决的核心问题，确保需求与工作目标、监测条件及成本预算相匹配。

### 6.2 资料收集

#### 6.2.1 遥感与地形资料

应收集下列数据的一种或多种，并对其完整性、时效性和精度进行检查：

- a) 光学遥感图像：比例尺不应小于 1:5000，光学影像数据宜选用云层覆盖量小于 5%、数据缺失不超过 2%，且辐射校正后的数据；
- b) 数字地形图：比例尺宜为 1:2 000~1:10 000，其中常规监测比例尺不应小于 1:5 000，应急监测比例尺不应小于 1:2 000；
- c) DEM：分辨率应优于地基干涉雷达影像分辨率，空间上应连续无跳变、无空洞，现势性应与地基干涉雷达监测时间相近，坐标系统应与地基干涉雷达监测数据坐标系统一致。

### 6.3 地质背景分析

#### 6.3.1 分析内容

地质背景分析包括下列内容：

- a) 灾害体类型、发育阶段、变形历史及诱发因素；
- b) 地形坡度、坡向、高差及微地貌特征；
- c) 地层岩性、风化程度、软弱夹层及结构面产状；
- d) 活动断裂、地震动参数、区域构造应力场；
- e) 水文地质条件，如地下水位、泉点、含水层分布等；
- f) 植被覆盖、人类工程活动，如切坡、加载、排水等。

#### 6.3.2 分析方法

地质背景分析方法包括下列内容：

- a) 采用 GIS 空间分析技术，叠加遥感影像、地形图、地质图件，提取灾害体边界及关键影响因素；
- b) 利用历史形变数据、降雨数据及地震数据建立统计模型，识别灾害变形的主控因子；
- c) 开展现场调查验证，补充裂隙发育、渗水点分布及变形迹象等实地信息。

#### 6.3.3 分析结果与用途

地质背景分析应形成分析报告，明确下列内容：

- a) 灾害体现状稳定性评价结论；
- b) 地基干涉雷达监测适宜性分区，分为适宜、较适宜、不适宜三类；
- c) 建议的监测站点布设位置、监测方向及重点监测区块；
- d) 为技术设计书编制、数据处理参数设定及后期成果解释提供依据。

### 6.4 技术设计书编写

#### 6.4.1 编写原则

技术设计书应突出“地质灾害场景地基 InSAR-形变预警”一体化思路，并按照 CH/T 1004 规定执行。

#### 6.4.2 主要内容

技术设计书应包括下列主要内容：

- a) 任务来源、目的及意义；
- b) 监测区地质背景及地基干涉雷达技术适用性分析；
- c) 监测数据精度要求与质量控制措施；
- d) 监测站点选址与建设方案；
- e) 地基干涉雷达数据获取与处理技术流程；
- f) 监测结果验证方法；
- g) 地质灾害发育规律及地质稳定性分析方法；
- h) 人员组成、任务分工及工作进度安排；
- i) 预期提交成果清单；
- j) 成果资料检查验收方案；
- k) 监测工作部署图。

#### 6.4.3 审批与变更

技术设计书应实行分级审批制度，具体要求如下：

- a) 由项目承担单位技术负责人初审，报测绘或地质灾害防治主管部门组织专家评审，评审通过并批准后方可实施；
- b) 执行过程中如确需变更，应按照本文件第 11.1 条“成果验收要求”履行变更程序，提出书面变更申请、技术论证、专家评审、原审批单位批准、实施并记录。

注：技术设计书及其变更文件应作为最终成果验收的必备附件。

### 7 监测站点选址和建设

#### 7.1 监测站点选址

##### 7.1.1 选址准备

监测站点选址准备要求如下：

- a) 实地选址前，应利用已收集的监测区域光学遥感图像、测区 1:50000 或更大比例尺地形图、地质灾害调查和已有监测成果资料等进行预选址；
- b) 现场踏勘时应获取监测区域的交通/供电/气象/通信等情况。

##### 7.1.2 选址要求

监测站点选址要求如下：

- a) 应便于安置监测和操作设备，视野开阔，视场内无遮挡；
- b) 宜避开地质构造不稳定区域，如：
  - 1) 铁路、公路等易产生振动的地点；
  - 2) 断层破碎带；
  - 3) 易于发生滑坡、沉陷等局部变形的地点，如采矿区、油气开采区、地下水漏斗沉降区等；
  - 4) 易受水淹或地下水位变化较大的地点；
- c) 距离大功率无线电发射源电视台、电台、微波站等应大于 200m；距离高压输电线和微波无线电信号传输通道应大于 50m；
- d) 站点环境应与周边自然环境保持一致；
- e) 交通、通信宜便利。

##### 7.1.3 作业要求

监测站点选址作业要求如下：

- a) 应根据预选址站点位，进行实地踏勘，按照 7.1.2 要求对预选站点位置进行符合性确认后，标定该点位；
- b) 在标定的点位上进行实地监测测试，以 15min 监测周期进行不少于 2h 连续监测；依据相干系数来判断，当相干值小于 0.7 的点大于 60%时，需要变更站址；
- c) 监测站应编制点之记，点之记应包含地质概要、构造背景及地形地质构造略图，监测点记录表见附录 A。

7.2 监测站点建设

7.2.1 站点类型

监测站点建设类型如下：

- a) 监测站点分为永久性监测站点和临时监测站点；
- b) 永久性站点型式包括长方形永久监测站点和锥形永久监测站点，设计示意图示例见附录 B；
- c) 永久性监测站点应设置中心标志，标志材质宜为铜或不锈钢，标志中心应刻制清晰、精细的十字线；
- d) 永久性监测站点应配备强制对中装置：锥形永久监测站点的对中装置为圆形中心，长方形永久监测站点的对中装置为长方形两侧。

7.2.2 基座要求

监测站点建设基座要求如下：

- a) 基座宜采用钢筋混凝土结构，分为基岩监测墩和土层监测墩两类：长期监测应采用基岩监测墩，临时监测站点可采用土层监测墩；
- b) 若监测站点位于地面，基座与地面接合处四周应设置不低于 5 cm 的隔振槽，槽内填充粗沙，以减小振动对监测的影响。

7.2.3 整饰要求

监测站点建设整饰要求如下：

- a) 应在监测墩上压印 “地基干涉雷达监测点”、“埋设年代” 及 “设施勿动” 字样；
- b) 监测站点建设的其他技术要求应符合 GB 50026 的规定。

8 数据获取

8.1 设备选型

根据监测范围，地基干涉雷达设备的选用按照表 2 规定执行。

表 2 地基雷达设备选用

监测场景	全景长距离监测	小范围长距离监测	小范围短距离监测
设备监测能力	可 360° 旋转，最大监测距离不应小于 5km	滑轨、旋转式、MIMO 监测，最大监测距离不应小于 5km	滑轨、旋转式、MIMO 监测，最大监测距离不应小于 3km
注：不同类型的地基雷达，可根据实际作业场景，选择最佳性能的技术装备。			

8.2 监测

8.2.1 监测计划

应根据监测类型、灾害发育阶段、风险评估结果及应急预案，结合技术设计书编制监测计划，明确监测启动时机、监测频率及监测时长。

### 8.2.2 监测准备

监测准备应符合下列要求：

- a) 编制监测计划表，调度人员应综合考虑监测区域地形与交通条件、监测目标地物特征、形变状况及监测方法（应急监测、间断监测、常规监测等），明确监测时间、频率等参数，并按计划表向作业组下达作业调度命令；应根据实际作业进展及时调整监测计划；
- b) 监测前，地基干涉雷达应进行预热和静置；旋转式地基干涉雷达应完成  $0^{\circ}$  归位；
- c) 若采用三脚架安置地基干涉雷达，三脚架架设完成后应静置至稳定；
- d) 监测前应检查回波数据：获取的目标雷达强度数据应目标清晰，相干值大于 0.7 的像元占比应大于 60%。

### 8.2.3 监测作业

监测作业要求如下：

- a) 检查设备电源电缆、天线等连接无误后，方可开机；
- b) 设备指示灯及仪表显示正常后，输入采样频率、方位角度范围、天线增益等控制参数并进行自测试；
- c) 设备启动前及作业过程中，应逐项填写监测手簿，监测手簿的格式、记录内容及要求见附录 C；
- d) 气象站应安置在监测站点附近，其高度宜与天线相位中心大致一致，若监测站点环境与周边自然环境差异较大，可在周边合适位置布设气象站测量气象元素；
- e) 设备操作人员应规范操作，监测期间应防止设备震动或移动，避免人员、物体触碰天线或阻挡雷达信号。

## 8.3 监测成果与记录

### 8.3.1 成果与记录分类

地基干涉雷达监测作业所获取的成果与记录应包括：

- a) 监测数据记录（硬盘和光盘等）；
- b) 监测手簿，格式见附录 C；
- c) 其他记录（包括监测计划、辅助监测资料等）。

### 8.3.2 监测数据内容

地基干涉雷达监测作业所获取的数据应包括：

- a) 原始数据、单视复数数据；
- b) 监测点的名称、位置坐标、天线  $0^{\circ}$  指向的方位角；
- c) 对应监测数据的时间、雷达数据采集参数。如采样间隔、监测距离范围、监测角度范围、天线俯仰角等。

### 8.3.3 记录要求

地基干涉雷达监测作业记录要求如下：

- a) 监测前及监测过程中应按要求及时填写记录内容，书写应认真细致，字迹清晰、工整；
- b) 监测手簿整饰、存储介质注记及各类计算应保证可以长期存储；
- c) 外业监测完成后，应及时将设备内存储介质的数据文件拷贝为一式两份；外存储介质应粘贴标签，注明监测点名称、时段号、文件名、采集日期等信息；两份存储介质应分别由专人保管，存放于防水、防静电的资料箱内；
- d) 监测手簿应事先连续编印页码并装订成册，不得缺损；
- e) 其他记录也应装订成册，妥善保管。

### 8.3.4 质量检查

地基干涉雷达监测质量检查要求如下：

- a) 检查原始数据的相干系数：相干值大于 0.7 的像元占比应大于 60%；
- b) 检查实际监测覆盖范围：应满足技术设计书规定的监测范围要求。

## 9 数据处理

### 9.1 一般规定

#### 9.1.1 基本要求：

数据处理基本要求如下：

- a) 数据应以采集时的极坐标系为基准，无需转换至直角坐标系；
- b) 数据粗配准时应选取具有丰富纹理特征的参考点，精配准精度应优于 0.2 个像元；
- c) 干涉计算时，多视视数宜设置为 1:1，无需额外进行多视计算；
- d) 时序高相干点选择宜联合采用振幅离差指数法、时序相干值阈值法、光谱离差指数法等；
- e) 时序解算前，应根据气象监测参数或距离与干涉相位的关系建立大气延迟模型，抑制干涉相位中的大气延迟影响；
- f) 结果地理编码精度应优于 2 个像元分辨率。

#### 9.1.2 处理软件

数据处理软件要求如下：

- a) 可采用设备配套的软件或其他满足数据处理要求的软件；
- b) 软件应具备干涉处理、滤波、时序数据分析、地理编码等功能。

### 9.2 准备工作

#### 9.2.1 数据检核

数据处理前，应按技术设计对外业全部资料进行全面检查和验收，重点包括：

- a) 监测数据质量分析；
- b) 数据传输过程中是否存在缺失或者遗漏。

#### 9.2.2 辅助数据预处理

辅助数据预处理要求如下：

- a) 外业监测的气象数据应转换为处理软件所需的单位；
- b) 外部 DEM、光学遥感影像等辅助数据应统一至同一坐标系统。

### 9.3 数据处理作业

#### 9.3.1 方法选择原则

数据处理方法选择原则如下：

- a) 实时处理应采用单主影像的时序 InSAR 处理方法；
- b) 事后处理可采用单主影像或者多主影像的时序 InSAR 处理方法。

#### 9.3.2 实时处理

实时处理适用于需快速响应的地质灾害变形监测场景（如应急监测），核心目标是快速捕捉突变形变。数据处理流程应高度自动化，采用单主影像时序处理方法，实现数据获取后即时生成形变结果。主要步骤如下：

- a) 自动接收并解析地基雷达原始数据，同步关联气象监测记录与设备工作参数；
- b) 对原始影像数据进行粗配准与精配准；
- c) 采用单主影像方式组合干涉对，开展干涉处理，并对干涉图进行相位滤波；
- d) 采用单一或联合振幅离差指数法、时序相干值阈值法、光谱离差指数法筛选高相干点；

- e) 利用实时气象数据或建立大气延迟相位模型,校正大气相位误差;
- f) 采用适宜的解缠算法对滤波后的干涉图进行相位解缠;
- g) 根据雷达影像参数计算 LOS 向形变量、形变速率等结果数据;
- h) 将 LOS 向形变量、形变速率等结果地理编码至指定地理坐标系。

### 9.3.3 事后处理

事后处理适用于长期或间断监测数据的深度分析。采用单主影像或多主影像时序 InSAR 处理方法,结合多源辅助数据来提升精度。主要步骤如下:

- a) 统一整理全周期监测数据,包括地基雷达原始数据及关联的气象记录等;
- b) 对原始数据进行粗配准与精配准;
- c) 采用单主影像或多主影像方式组合干涉对,开展干涉处理,并对干涉图进行相位滤波;
- d) 采用单一或联合振幅离差指数法、时序相干值阈值法、光谱离差指数法筛选高相干点;
- e) 根据气象站数据或建立大气延迟相位模型,校正大气相位误差;
- f) 采用适宜的解缠算法对干涉图进行相位解缠;
- g) 根据雷达影像参数计算 LOS 向形变量、形变速率等结果数据;
- h) 将 LOS 向形变量、形变速率等结果地理编码至指定地理坐标系。

## 9.4 数据处理成果

数据处理成果应按下列步骤制作:

- a) 根据计算获取的形变量、形变速率,选用地基雷达图像强度数据、光学遥感影像、地形图、DEM 晕渲图等中的一种或多种,按 GB/T 15968 的规定制作监测区域形变速率图、累积形变量图;
- b) 根据目标区域形变分布特征,选取具有代表性的稳定区域与形变区域点目标,绘制点目标的时间序列形变图。

## 9.5 精度评定

数据处理结果精度评定应包括内符合精度评定和外符合精度评定两部分:

### 9.5.1 内符合精度

内符合精度应采用数据处理过程中的质量指标进行评定,包括但不限于配准精度指标、相位解缠指标、时序形变中误差指标等。

### 9.5.2 外符合精度

外符合精度应采用下列方法之一评定:

- a) 采用高精度 GNSS 测量或水准测量的监测结果与地基干涉雷达结果进行对比;
- b) 设置角反射器,通过测量角反射器与地基雷达的相对距离,与地基干涉雷达结果进行对比。

## 10 成果分析

应结合地质灾害隐患的规模、致灾因素、成灾模式、孕灾地质条件,对地基干涉雷达监测数据进行综合分析,确定监测对象的形变规律、运动模式等,研判其稳定性与演化趋势。

### 10.1 综合分析要素

综合分析应包含下列要素:

- a) 地质环境要素:监测对象的地形地貌、气象水文、地层岩性、地质构造、水文地质条件及人类工程活动等;
- b) 监测对象基本特征要素:监测对象的边界条件、形态特征、岩组特征及岩土体性质等。



## 10.2 综合分析内容

综合分析应包括下列内容：

- a) 形变特征：基于地基干涉雷达监测结果，分析变形区范围、所处部位、变形量级及形变梯度；
- b) 成因及稳定性现状：结合致灾因素、现场变形破坏特征、物质组成条件、三维地形结构及运动模式，综合分析地质灾害活动性，初步评价监测对象的稳定状态；
- c) 演化趋势：分析监测对象形变加剧或减缓的趋势，预判其未来变形发展方向。

## 10.3 综合分析方法

综合分析应采用下列方法：

- a) 可视化分析：利用数据数值模拟仿真技术，结合彩色渲染、动态显示、剖面线分析、等值线分析等方法，呈现变形时空分布特征；
- b) 空间信息统计与耦合分析：结合地质环境特征，开展时序突变检测、时序区县切线角分析、变形面积统计等空间信息统计，采用时序分析、时空分析等耦合分析方法，判断形变诱发机制；
- c) 稳定性分析：采用地学分析方法对监测对象进行稳定性定性分析。必要时，可采用数值模拟、极限平衡法等开展稳定性定量分析，或通过动态建模与阈值设定开展灾害预测、预警工作。

## 11 成果验收与提交

### 11.1 成果验收要求

成果验收要求如下：

- a) 实施方案是否符合规范和技术设计要求；
- b) 监测站点选址与数据采集质量是否符合要求；
- c) 所需辅助数据是否完备及数据处理过程是否完整；
- d) 数据处理成果是否符合精度要求；
- e) 各项技术指标是否达到监测要求。

### 11.2 成果提交材料

成果提交材料要求如下：

- a) 监测任务书（或合同书）、技术设计书；
- b) 监测点选址和建设资料；
- c) 地基雷达设备、气象及其他仪器的检验资料；
- d) 外业监测记录、监测手簿及其他记录；
- e) 地基雷达采集的原始数据；
- f) 数据处理中生成的重要过程文件、资料和成果表；
- g) 数据处理成果及其验收报告，报告格式见附录 D。

附录 A  
(资料性)  
监测点记录表

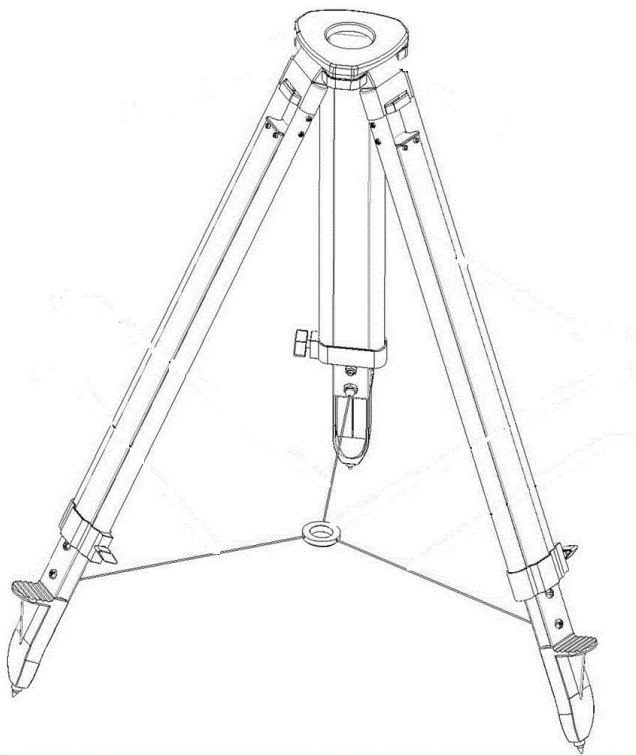
A.1 监测点记录表示例见表A.1。

表A.1 监测点记录表

监测点名称				概略位置		B=____ L=____ H=____	
所在地				最近住所及距离			
地类		土质		冻土深度		解冻深度	
距离监测目标的距离				供电情况			
最近水源及距离				石子来源		沙子来源	
本监测点 交通情况				交通 线路 图			
监测点情况				监测点略图			
单位							
建站人员							
站点植被 情况							
建站方式							
建站时间							
地质概要、构造背景				地形地质构造略图			
备注							

附录 B  
(资料性)  
监测站点示意图

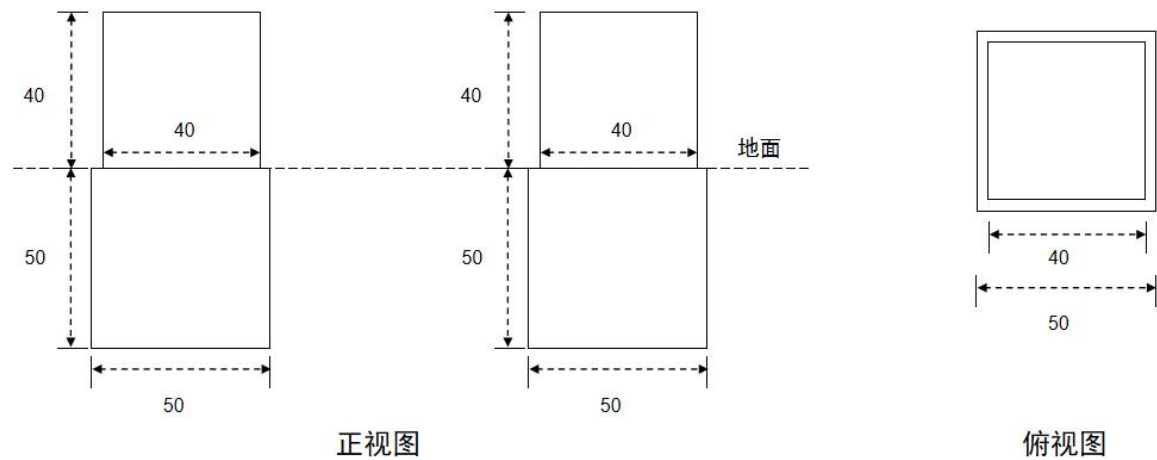
B.1 临时监测站点示意图见图B.1。



图B.1 临时监测站点示意图

B.2 长方形永久监测站点示意图见图B.2。

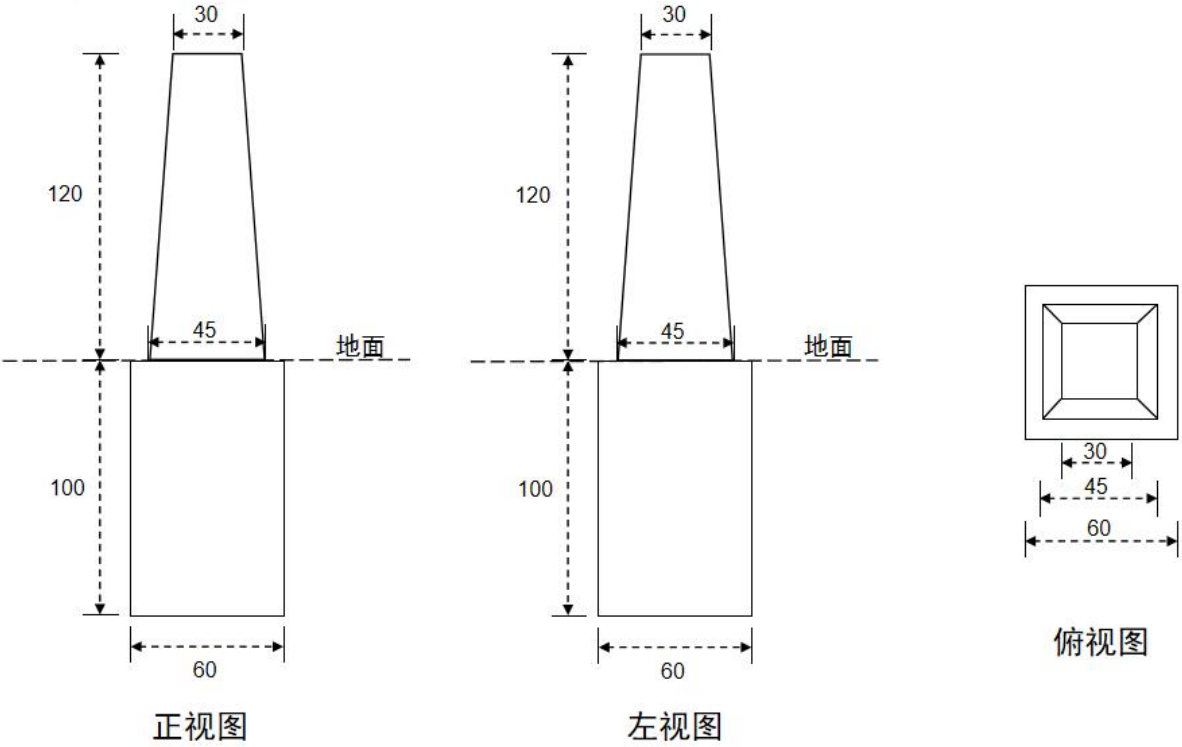
单位：厘米



图B.2 长方形永久监测站点示意图

B.3 锥形永久监测站点示意图见图B.3。

单位：厘米



图B. 3 锥形永久监测站点示意图

附录 C  
(资料性)  
监测手簿记录及有关要求

C.1 监测手簿  
C.1.1 监测手簿封面示例如下：

地基雷达监测手簿No. \_\_\_\_\_  
项目名称\_\_\_\_\_

监测模式\_\_\_\_\_

起止时间\_\_\_\_\_

监测单位\_\_\_\_\_

C.1.2 监测手簿记录格式示例见表C.1

表C.1 监测手簿记录表

监测站名称				监测站位置	
监测人员				监测日期	
地基雷达设备名称				数据存储介质编号及文件文件名	
气象站设备名称				备份存储介质编号及文件文件名	
采样间隔		开始监测时间		结束监测时间	
天气情况					
记事					

- C.2 监测手簿记录内容及要求
- 监测手簿记录内容及要求如下：
- a) 监测站名称；
  - b) 监测站位置：记录监测站的纬度、经度和高程；
  - c) 监测人员；
  - d) 监测日期：按照年/月/日填写；
  - e) 地基雷达设备名称:填写设备名称及其编号；
  - f) 数据存储介质编号及文件文件名；
  - g) 气象站设备名称: 填写设备名称及其编号；
  - h) 采样间隔、开始记录时间、结束记录时间；

T/CSGPC XXX—20XX

- i) 天气状况按晴、多云、阴、小雨、小雪、雨、雪选一填写；
- j) 整个监测过程中出现的重要问题，出现时间及其处理情况。

附录 D  
(资料性)  
成果报告提纲

成果报告章节及内容要求如下：

第一章 概述

项目概况、以往工作程度分析与评述、工作区范围、本次工作概况

第二章 地质背景

地形地貌与地表覆盖物、区域地层岩性、活动构造和地震、人类生产生活情况等。

第三章 地基干涉雷达监测技术与工作流程

一、地基干涉雷达工作原理与进展

二、技术路线

三、本项目采用的主要技术方法

第四章 地基干涉雷达监测与数据处理过程

一、地基干涉雷达监测过

包括监测点选址、建设、监测数据获取等

二、数据处理过程

包括数据预处理、大气延迟相位计算与剔除、时序数据处理、地理编码、精度评价等

三、数据处理结果

包括各种方法监测得到的线性、非线性变形结果的说明

第五章 地基雷达监测结果综合分析

包括构造因素影响的灾害体变形，岩土体性质影响的灾害体变形，地下水波动影响的灾害体变形，人类活动影响的灾害体变形等

第六章 结论与建议

一、取得的主要结论

二、存在问题与建议

参考文献

附图及相关附件

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语
  - [2] GB/T 17694-2023 地理信息术语
-