

ICS 07.040

CCS D 14

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

地质灾害星-地雷达干涉协同监测技术 规程

Technical specification for collaborative monitoring of geological disasters
by space-ground radar interferometry

(草案)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 III

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 总体要求 2

 5.1 技术原则 2

 5.2 监测成果 2

 5.3 时间基准 2

6 监测体系与技术流程 2

 6.1 体系架构 2

 6.2 技术流程 3

7 数据获取与预处理 3

 7.1 星载 SAR 数据获取 3

 7.2 地基/机载 SAR 数据获取 3

 7.3 辅助数据 4

 7.4 预处理 4

8 星载 InSAR 数据处理 4

 8.1 干涉图生成 4

 8.2 相位解缠 4

 8.3 大气相位校正 4

 8.4 时序形变反演 4

 8.5 编码与成果 5

9 地基与机载 InSAR 数据处理 5

 9.1 地基 InSAR 数据处理 5

 9.2 机载 InSAR 数据处理 5

10 星-地协同监测与融合分析 5

 10.1 协同策略 5

 10.2 数据融合 5

10.3 异常识别与验证 6

11 精度评定与质量控制 6

11.1 精度评定指标 6

11.2 精度要求 6

11.3 质量控制 6

12 成果编制与预警响应 6

12.1 成果编制 6

12.2 预警响应 6

附录 A （资料性） 星-地协同监测适用性判定 8

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次编制。

地质灾害星-地雷达干涉协同监测技术规程

1 范围

本文件规定了地质灾害星-地雷达干涉协同监测的总体要求、检测体系与技术流程、数据获取与预处理、星载InSAR数据处理、地基与机载InSAR数据处理、星-地协同监测与融合分析、精度评定与质量控制及成果编制与预警响应。

本文件适用于自然或人为因素引发的滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地面塌陷及地裂缝等地质灾害的星-地 InSAR 协同调查与监测，其他地表形变监测可参照执行。

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 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 28592 降水量等级
- CH/T 2014 大地测量控制点坐标转换技术规范
- CH/T 6006 时间序列InSAR地表形变监测数据处理技术规程
- DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范（1:50 000）
- DZ/T 0286 地质灾害危险性评估规范

3 术语和定义

GB/T 14950 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

星-地协同监测 space-ground collaborative monitoring

综合利用星载 SAR 卫星与地基/机载 InSAR 平台，按照时空互补原则开展的地表形变协同观测与数据融合分析活动。

3.2

像素偏移追踪 pixel offset tracking; POT

通过计算两幅 SAR 影像同名像元的强度互相关偏移量，提取大梯度形变或同震位移的技术方法。

3.3

形变速率 deformation velocity

单位时间内地表沿雷达视线方向（line of sight, LOS）或经投影转换后的垂直/水平方向的位移变化量。

3.4

预警阈值 early-warning threshold

依据地质灾害演化阶段与形变特征划定的、用于触发不同级别监测预警的形变速率或累计位移临界值。

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)

D-InSAR: 差分干涉测量 (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)

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

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

LOS: 视线方向 (Line of Sight)

PS: 永久散射体 (Persistent Scatterer)

SBAS: 小基线子集 (Small Baseline Subset)

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

UTC: 协调世界时 (Coordinated Universal Time)

5 总体要求

5.1 技术原则

5.1.1 系统性

统筹卫星、无人机、地面雷达等多平台观测资源,构建覆盖“普查—详查—精测”的多尺度监测体系。

5.1.2 协同性

依据星载 InSAR 广域覆盖与地基/机载 InSAR 定点高频的优势,实现时空分辨率互补。

5.1.3 时效性

建立近实时数据处理流程,满足灾害应急响应与日常动态监测的时效需求。

5.1.4 可追溯性

数据获取、处理、分析的全流程应记录元数据与处理参数,确保成果可复现、可核查。

5.2 监测成果

监测成果应采用国家规定的坐标系统与高程基准。当采用其他坐标系统时,应建立与2000国家大地坐标系 (CGCS2000) 的转换关系,转换精度应优于0.1 m。

5.3 时间基准

所有监测数据的时间标注应采用 UTC,并以影像获取时刻的日界为统计单元。时序分析应统一时间基准,避免因卫星地方时差异引入系统性偏差。

6 监测体系与技术流程

6.1 体系架构

星-地协同监测体系由数据层、处理层、分析层和应用层构成:

- a) 数据层：包括星载 SAR 影像、地基/机载 SAR 数据、DEM、光学遥感影像、GNSS 观测数据及气象水文数据；
- b) 处理层：涵盖 SAR 影像预处理、干涉图生成、相位解缠、大气校正、轨道精炼、形变反演与地理编码；
- c) 分析层：包括时序形变建模、驱动因子关联分析、星-地数据融合及灾害隐患识别；
- d) 应用层：面向地质灾害调查、监测预警、应急响应及防灾减灾决策支持。

6.2 技术流程

星-地雷达干涉协同监测的技术流程宜按以下步骤实施：

- a) 监测需求分析与方案设计；
- b) 多源 SAR 数据获取与质量检查；
- c) 星载 InSAR 广域形变反演与隐患识别；
- d) 重点区域地基/机载 InSAR 精细监测；
- e) 星-地数据融合与协同验证；
- f) 精度评定与质量控制；
- g) 成果编制与预警响应。

7 数据获取与预处理

7.1 星载 SAR 数据获取

7.1.1 数据源选择

星载SAR数据源的选择应符合以下要求：

- a) 应根据监测目标的地表覆盖类型、形变速率及所需精度，合理选择 C 波段（Sentinel-1 等）、L 波段（LT-1 等）或 X 波段 SAR 数据；
- b) 对于植被覆盖深厚、相干性衰减显著的区域，宜优先选用 L 波段数据；
- c) 对于快速形变或同震位移场景，可辅以像素偏移追踪（POT）技术，此时宜选用高分辨率 SAR 数据。

7.1.2 数据质量要求

获取的星载SAR数据应满足：

- a) 影像信噪比（SNR）应优于 10 dB；
- b) 同一监测时段内，有效影像数量应满足时序分析方法的最小样本要求，其中 PS-InSAR 不宜少于 25 景，SBAS-InSAR 不宜少于 15 景；
- c) 影像覆盖范围应完整包含监测区，边缘重叠率不宜低于 5%。

7.2 地基/机载 SAR 数据获取

7.2.1 观测布设

地基/机载InSAR观测应符合以下要求：

- a) 观测站/航线应布设在形变显著或高风险区，通视条件良好，避免强反射体干扰；
- b) 地基 SAR 应设置稳定参考点，参考点宜位于监测区外围的基岩或稳固建（构）筑物上；
- c) 机载 SAR 航线设计应满足立体覆盖与重叠要求，旁向重叠率不宜低于 30%。

7.2.2 观测频次

对于活跃期地质灾害体，地基InSAR观测频次宜不低于1次/天；机载InSAR复测周期宜根据形变速率确定，一般不宜超过1个月。

7.3 辅助数据

辅助数据应包括：

- a) 监测区 DEM，空间分辨率宜优于 30 m，高程精度宜优于 10 m；
- b) 同期气象水文数据，包括降水量、库水位、气温等；
- c) GNSS 连续运行参考站或形变监测点数据，用于外部检核。

7.4 预处理

SAR 影像预处理应包括：

- a) 影像聚焦、多视处理与辐射定标；
- b) 精密轨道数据更新与几何校正；
- c) DEM 配准与模拟地形相位生成；
- d) 影像裁剪与重采样，保持空间分辨率一致性。

8 星载 InSAR 数据处理

8.1 干涉图生成

干涉图生成应符合以下要求：

- a) 干涉对选取应综合考虑时空基线、多普勒质心频率及季节相干性，时间基线宜控制在临界基线的 1/3 以内；
- b) 对于 LT-1 等多星星座数据，应引入影像间重叠率约束，优化同一轨道内不同分幅影像的干涉网络构建；
- c) 配准精度应达到亚像元级，配准误差引起的相位偏差应小于 $\pi/8$ 。

8.2 相位解缠

相位解缠应满足以下要求：

- a) 对于高相干、形变梯度小的区域，可采用最小费用流（MCF）或枝切法进行解缠；
- b) 对于低相干、复杂地形区，宜采用基于深度学习的语义分割辅助解缠方法，降低解缠误差；
- c) 解缠结果应进行一致性检查，跳变点与残差点应予以标记并修复。

8.3 大气相位校正

大气相位校正应遵循以下原则：

- a) 优先采用外部气象模型（如 ERA5、GACOS）或 GNSS 对流层延迟产品进行大气相位屏估计与扣除；
- b) 在时序分析中，可利用时空滤波方法分离大气相位与形变信号；
- c) 电离层相位贡献在 L 波段数据处理中应予以专门评估与校正。

8.4 时序形变反演

8.4.1 方法选择

时序形变反演方法的选择应依据监测目标特征确定：

- a) 城区或强散射体密集区，宜采用 PS-InSAR 方法；
- b) 非城区、低相干或分布式散射体占优区，宜采用 DS-InSAR 或 SBAS-InSAR 方法；
- c) 对于大梯度形变，可联合 POT 方法获取位移信息。

8.4.2 形变解算

形变解算应符合以下要求：

- a) 采用外部 DEM 消除地形相位后，通过轨道精炼与重去平减少残余轨道相位；

- b) 建立形变模型时，应合理估计线性形变速率、周期项（如季节性形变）及阶跃形变分量；
- c) 对于多轨道数据，应通过区域网平差或公共点约束实现不同轨道形变结果的无缝拼接。

8.5 编码与成果

星载InSAR形变成果应进行地理编码，输出内容包括：

- a) 平均形变速率图，空间分辨率宜与原始 SAR 影像多视后分辨率一致；
- b) 累计形变量时间序列；
- c) 相干系数图与监测点密度分布图；
- d) 精度评定报告与质量标识。

9 地基与机载 InSAR 数据处理

9.1 地基 InSAR 数据处理

9.1.1 差分干涉处理

地基InSAR差分干涉处理应符合以下要求：

- a) 采用角反射器或自然永久散射体作为稳定参考，进行干涉相位稳定化；
- b) 差分干涉前应扣除由轨道几何变化引入的相位分量；
- c) 对于连续观测模式，应建立影像序列的配准与相位传递机制，避免累积误差。

9.1.2 形变提取与建模

形变提取应符合以下要求：

- a) 基于时序干涉相位，解算雷达视线方向形变时间序列；
- b) 结合多视角观测或已知形变方向假设，将 LOS 形变分解为垂直与水平分量；
- c) 建立形变与驱动因子（降雨、库水位、温度等）的关联模型，识别异常形变时段。

9.2 机载 InSAR 数据处理

机载InSAR数据处理应符合以下要求：

- a) 利用机载 POS 数据与 DEM 进行干涉几何精化，消除由飞行姿态波动引入的相位误差；
- b) 对于重复航线观测，应进行航线间配准与相位一致性处理；
- c) 机载 InSAR 成果应与星载 InSAR 成果进行空间配准，统一坐标与高程基准。

10 星-地协同监测与融合分析

10.1 协同策略

星-地协同监测应按以下策略实施：

- a) 星载 InSAR 承担广域普查与隐患识别，划定形变异常区；
- b) 地基/机载 InSAR 针对星载监测发现的重点隐患点开展加密观测与精细追踪；
- c) 建立星-地数据协同调度机制，实现“卫星发现—地面验证—精细监测—动态反馈”的闭环管理。

10.2 数据融合

数据融合应符合以下要求：

- a) 空间融合：以星载 InSAR 形变场为底图，叠加地基/机载 InSAR 精细形变结果，保持空间配准误差小于 1 个像元；

- b) 时间融合：建立统一时间轴，对星载低频与地基高频观测数据进行时间插值与联合建模；
- c) 精度融合：以 GNSS 实测数据为真值，分别评估星载与地基/机载 InSAR 精度，建立加权融合模型。

10.3 异常识别与验证

异常形变识别与验证应遵循以下流程：

- a) 基于星载时序形变结果，采用统计阈值法或机器学习方法识别形变异常点/区；
- b) 对异常区开展光学遥感解译、无人机航测及现场地质核查，确认灾害属性；
- c) 对确认隐患点布设地基 InSAR 或 GNSS 进行连续监测，验证形变趋势与量级。

11 精度评定与质量控制

11.1 精度评定指标

监测成果精度评定应采用以下指标：

- a) 形变速率中误差，通过与 GNSS 或水准实测数据对比计算；
- b) 监测点空间密度与覆盖度；
- c) 相干系数均值与有效监测点比例；
- d) 虚警率与漏检率（针对隐患识别）。

11.2 精度要求

不同监测阶段的精度应符合以下要求：

- a) 星载 InSAR 广域普查，形变速率监测精度宜优于 5 mm/a，平面定位精度宜优于 30 m；
- b) 地基 InSAR 精细监测，形变测量精度宜优于 1 mm，时间分辨率宜达到小时级；
- c) 机载 InSAR 详查，形变速率监测精度宜优于 3 mm/a，空间分辨率宜优于 3 m。

11.3 质量控制

质量控制应覆盖数据获取、处理、分析及成果输出全过程：

- a) 数据质量检查：对 SAR 影像、DEM、辅助数据进行完整性、一致性与现势性检查；
- b) 处理过程检查：对干涉图质量、解缠结果、大气校正效果进行目视与定量检查；
- c) 成果质量检查：依据 GB/T 24356 及本文件要求，对形变图、监测报告进行三级检查与验收。

12 成果编制与预警响应

12.1 成果编制

星-地协同监测成果应包括：

- a) 监测技术设计书；
- b) 原始 SAR 数据、DEM 及辅助数据清单；
- c) 时序形变数据集（含平均形变速率图、累计形变量时间序列）；
- d) 星-地协同监测分析报告，包含隐患点识别结果、形变特征分析、驱动因子关联及风险评估；
- e) 精度评定与质量检查报告。

12.2 预警响应

预警响应应符合以下要求：

- a) 依据形变速率、累计位移量及灾害类型，建立蓝、黄、橙、红四级预警阈值体系；
- b) 预警阈值应结合地质环境条件、历史灾害数据及工程地质类比综合确定；

- c) 触发预警后，应在 24 h 内启动加密监测，并提交应急监测快报；
 - d) 预警信息应接入地质灾害监测预警平台，实现与应急管理、自然资源等部门的信息共享。
-

附录 A
(资料性)
星-地协同监测适用性判定

A.1 星载 InSAR 方法适用性判定见表 A.1。

A.1 星载 InSAR 方法

灾害类型	推荐方法	适用条件	备注
缓慢滑坡	PS-InSAR、SBAS-InSAR	形变速率 $< 100 \text{ mm/a}$ ，相干保持	植被区宜选 L 波段
快速滑坡	POT、DS-InSAR	形变速率 $\geq 100 \text{ mm/a}$ 或相干性快速衰减	需高分辨率数据
地面沉降	PS-InSAR、SBAS-InSAR	大面积、梯度小、周期长	结合地下水数据
崩塌/危岩体	地基 InSAR 为主	局部、高陡、形变梯度大	星载辅助普查
地裂缝	PS-InSAR、DS-InSAR	线性特征明显	需多视角观测
地面塌陷	D-InSAR、SBAS-InSAR	突发或渐进沉降	结合钻孔验证

A.2 当监测区植被覆盖度大于 70%且形变速率超过 C 波段可探测阈值时，宜优先采用 L 波段星载数据或地基/机载 InSAR。

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
地质灾害星-地雷达干涉协同监测技术规程
T/CEATEC XXXX—2026

*

中国欧洲经济技术合作协会
网址

<https://www.ceatec.org.cn/>

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 XXX 千字
2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会
调换

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64516951



T/CEATEC XXX—2026

