

ICS 93.080.20

CCS P 66

DB 14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 3163—2024

公路边坡干涉雷达监测技术规程

Technical specification for highway slope monitoring by synthetic
aperture radar

2024 - 10 - 08 发布

2025 - 01 - 08 实施

山西省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
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	2
6 InSAR 技术方法及要求	5
7 边坡监测	14
8 监测期限及频率	15
9 监测预警	16
10 监测成果及报告	16
附录 A（资料性） 星载 SAR 可视性分析	18
附录 B（资料性） 主要星载 SAR 数据汇总	19
附录 C（资料性） 主要 InSAR 技术适用条件	20

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。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

由山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会(SXS/TC37)归口。

本文件起草单位：山西省交通科技研发有限公司、山西省智慧交通研究院有限公司、中国地质大学（北京）。

本文件主要起草人：熊威、孙志杰、孔繁盛、彭军还、杨烜宇、赵紫阳、付玉强、吕永萍、王军飞、王帅、陈毅、刘亚明、王闫超、张必昌、牛雨竹、陈汝先、高淑利、付智源。

公路边坡干涉雷达监测技术规程

1 范围

本文件规定了公路边坡干涉雷达监测技术的基本规定、技术方法及要求、边坡监测、监测期限及频率、监测预警、监测成果及报告的技术要求。

本文件适用于各等级公路边坡形变监测，矿区、城区等场地地表形变监测可参考使用。

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 50026 工程测量规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
- JGJ 8 建筑变形监测规范
- JTG/T D31-05 黄土地区公路路基设计与施工技术规范
- JTG/T 3334 公路滑坡防治设计规范
- CH/T 6006 时间序列InSAR地表形变监测数据处理规范
- DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

公路边坡 slope of highway

由于公路工程建设开挖或填筑所形成的斜坡，包括路堑边坡和路堤边坡。

3.2

合成孔径雷达干涉测量 interferometric synthetic aperture radar

利用合成孔径雷达在不同时刻获取同一地区的雷达回波信号的相位进行差分计算获取数字高程模型或地表形变信息的技术。本文件特指利用SAR数据开展边坡形变监测的空间大地测量技术，包括星载合成孔径雷达干涉测量和地基合成孔径雷达干涉测量。

3.2.1

差分合成孔径雷达干涉测量 differential InSAR

从合成孔径雷达干涉相位中减去地形相位及平地相位，提取地表形变信息的测量技术。

3.2.2

永久散射体干涉测量 persistent scatterers InSAR

利用合成孔径雷达干涉图像中具有长期稳定、强后向散射特性的像元（即PS点），进行时间和空间域形变量估算以提取地面形变信息的干涉测量方法。

3.2.3

小基线集干涉测量 small baseline subsets InSAR

利用时间和空间基线均小于给定阈值的干涉像对构成多个差分干涉图集，对时间序列相干目标的差分相位进行分析处理并获取地面形变信息的干涉测量方法。

3.2.4

地基合成孔径雷达干涉测量 ground-based InSAR

通过地面测站上的合成孔径雷达对监测体进行干涉成像，获得监测体周期性或实时位移信息的测量方法。

3.3

干涉基线 interferometric baseline

包括空间基线和时间基线。主影像和辅影像干涉成像时，卫星位置构成的空间向量称作空间基线，主、辅影像获取时间差称作时间基线。

3.4

干涉图 interferogram

配准后的主辅影像中对应像元值进行复共轭相乘得到的图像。

3.5

相干目标 coherent target

在干涉图上能保持后向散射特性稳定且相干性良好的像元。

3.6

角反射器 corner reflector

能够对雷达波束产生强烈反射，并在合成孔径雷达图像上形成高强度信号的人工装置。

3.7

视线向 line of sight

雷达传感器与地面目标构成的直线方向。

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）

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

TS-InSAR：时间序列合成孔径雷达干涉测量（Time Series InSAR）

LOS：视线向（Line of Sight）

PS：永久散射体（Persistent Scatterer）

SAR：合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar）

SBAS：小基线集（Small Baseline Subsets）

SLC：单数复图像（Single Look Complex）

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

5 基本规定

5.1 监测任务

包括边坡形变速率图制作、边坡滑动范围获取、历史形变回溯及趋势判断、监测结果精度评价。

5.2 监测等级

5.2.1 公路边坡监测等级根据边坡稳定状态和边坡风险等级进行划分，当边坡稳定状态发生变化时，监测等级应动态调整。

5.2.2 公路边坡稳定状态宜采用地质分析法、极限平衡法、数值模拟法等确定，也可依据滑坡特征按《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》（DZ/T 0221）附录 C.3 中滑坡稳定性评价标准来确定。

5.2.3 公路边坡风险等级按照表 1 进行划分。

表1 公路边坡风险等级划分表

评价要素	风险等级		
	I 级	II 级	III 级
经济损失	直接经济损失>500 万元或间接经济损失>5000 万元	直接经济损失 100 万~500 万元或间接经济损失 500 万~5000 万元	直接经济损失<100 万元或间接经济损失<500 万元
人身安全	威胁人数>100 人	威胁人数 10 人~100 人	威胁人数<10 人
危害后果	完全中断	半幅中断	不影响通行
注：满足评价要素中的一项即可。			

5.2.4 公路边坡监测等级应按表 2 划分。

表2 公路边坡监测等级划分表

边坡监测等级	边坡稳定状态	边坡风险等级
一级	不稳定	I 级、II 级、III 级
	欠稳定	I 级
二级	欠稳定	II 级、III 级
	稳定	I 级
三级	稳定	II 级、III 级

5.3 工作流程

利用 InSAR 技术开展公路边坡监测的作业流程包括：技术设计、数据获取、数据处理、成果精度评价、成果编制与提交，具体内容见图 1 所示。

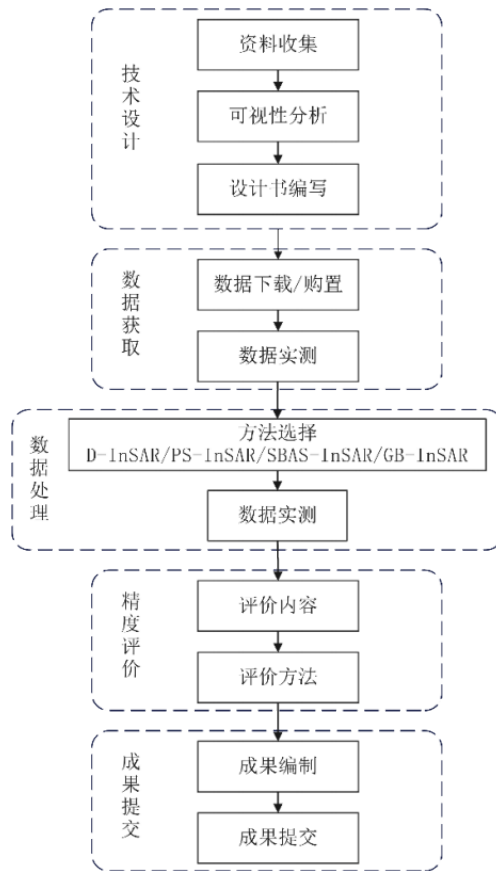


图1 公路边坡 InSAR 监测作业流程图

5.4 资料收集

实施 InSAR 边坡监测任务前需要收集的资料包括：

- 边坡地质状况、影像资料；
- 边坡设计、施工资料；
- 历史监测数据；
- 监测区SAR 数据，包括存档数据和编程数据；
- 监测区辅助数据资料，包括 DEM 数据、成果底图数据、卫星轨道数据和其它数据等。

5.5 可视性分析

5.5.1 实施 InSAR 边坡监测任务前需要根据 SAR 传感器与坡表的空间位置关系进行可视性分析，星载 SAR 可视性分析步骤见附录 A。

5.5.2 GB-InSAR 根据传感器的位置、视场角与边坡坡度、走向确定是否可视。

5.5.3 可视性良好区域宜连续分布，应达到影像覆盖范围 60%以上。

5.6 设计书编写

5.6.1 实施 InSAR 边坡监测任务前应制定相应的技术设计书。

5.6.2 技术设计书的内容包括：

- a) 任务来源及目的、意义；

- b) 技术设计的依据；
- c) 测区概况；
- d) 监测方法及主要技术要求；
- e) 监测数据选择及质量要求；
- f) 任务分工及工作进度安排；
- g) 成果资料检查验收；
- h) 预期提交成果。

5.7 SAR 数据选择

5.7.1 应根据监测任务要求和监测对象特点，优先选择监测区开源 SAR 数据，当其不能满足监测要求时，应购置商业数据，现有可供选择的主要星载数据源见附录 B。

5.7.2 星载 SAR 数据选择应考虑的因素有：边坡走向及坡度、形变量级、数据范围、植被覆盖情况、监测精度和监测时间跨度等。其要求包括：

- a) 边坡走向宜与卫星视线向垂直，不应超过 5.5.1 中可视性条件要求；
- b) 卫星视线向与最大位移方向夹角最小为优，尽量避免山体阴影、叠掩、透视收缩等几何畸变现象；
- c) 当监测目标的视线向形变量过大而引起失相干时，应采用雷达波长更大、重访周期更短、像元分辨率更高的 SAR 数据；
- d) 影像范围应大于监测区范围，不满足要求时，应对相邻的两景影像进行拼接；
- e) 植被覆盖面积不宜超过测区的 50%，年度覆盖时间不宜超过 6 个月，不满足要求时，应布设角反射器；
- f) 应根据具体任务要求和监测精度选择技术方法和 SAR 影像数量，具体要求可参考附录 C；
- g) 监测时间跨度应大于任务要求期限。

5.7.3 当星载 SAR 数据不能满足监测要求时，应使用 GB-InSAR 进行监测。

5.8 辅助数据选择

5.8.1 进行数据处理前，应选择适当的辅助数据，主要包括监测区 DEM、卫星精密轨道数据、大气校正数据、高清底图数据。宜收集监测区内其他手段获取的参考点形变数据作为对比。

5.8.2 DEM 数据应满足以下要求：

- a) 宜选择分辨率优于 SAR 影像的 DEM 数据，在无法获取高分辨率 DEM 的地区可使用 SRTM DEM 等中低分辨率的数据；
- b) DEM 数据的现势性应与 SAR 数据接近；
- c) DEM 数据在空间上应与 SAR 数据保持一致，面积比裁剪后的 SAR 数据增加 5% 以上。

5.8.3 大气校正数据应与 SAR 影像的空间范围及获取时间一致，空间分辨率不宜低于后者，否则应进行内插。

5.8.4 底图数据宜首选带地理坐标信息的高清地图，次选光学遥感数据、SAR 强度数据、地形图、DEM 渲染图等数据。

6 InSAR 技术方法及要求

6.1 基本要求

6.1.1 宜综合运用多种技术方法及数据源实现边坡不同角度、不同分辨率、不同精度的全方位监测，

并相互验证。

6.1.2 应优先使用精密轨道数据。

6.1.3 宜使用同时期的气象数据对 SAR 数据做大气校正。

6.2 数据处理方法

6.2.1 监测精度要求较低、SAR 数据量不大于 4 景的工作区宜选择 D-InSAR 方法。

6.2.2 数据量较大、监测精度要求较高时，宜选择 PS-InSAR、SBAS-InSAR 方法。

6.2.3 对于临滑阶段的形变监测，宜选择 GB-InSAR 方法。

6.2.4 不同监测方法所适用的边坡监测等级、监测精度和应用条件见附录 C。

6.3 D-InSAR 数据处理

6.3.1 基本流程

D-InSAR 方法数据处理的基本流程见图 2 所示。

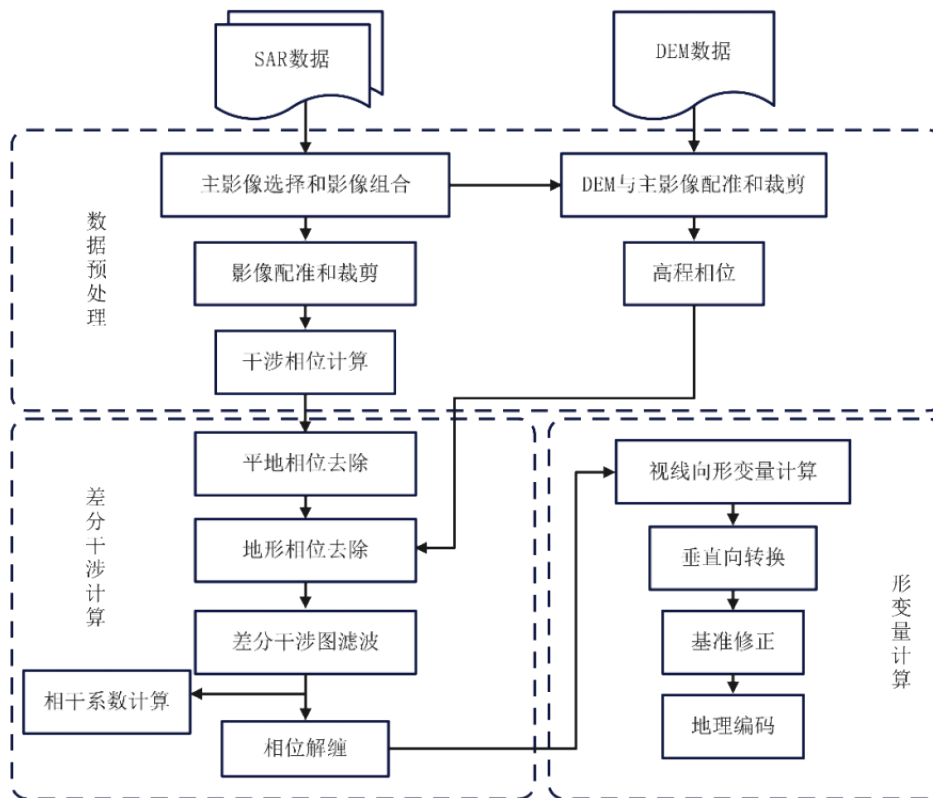


图2 D-InSAR 数据处理流程图

6.3.2 数据预处理

SAR 主影像的选择及影像组合生成像对的步骤如下：

- 计算所有影像像对的时间和空间基线，生成时间和空间基线分布图；
- 空间基线不宜超过临界基线的 1/2，时间基线应根据相干点数量进行选取，当相干点数量不能反映形变特征时，宜减小时间基线长度；
- 选择时间范围内空间基线尽量短的像对，并选择像对中时间较早的影像作为主影像。

6.3.3 影像配准和裁剪

已组合好的像对，根据主影像进行配准，并将所有影像裁剪成范围一致区域，具体步骤如下：

- a) 选择配准算法，设置配准参数，对每个像对进行配准计算；
- b) 主辅影像配准时要求方位向和距离向误差均小于 0.1 个像元，且计算配准多项式的同名点应在整景影像上均匀分布；
- c) 所有配准影像裁剪后的公共区域应大于或等于设计的监测工作范围，如有缺失应及时补充数据。

6.3.4 DEM 与 SAR 影像配准和裁剪

将 DEM 与选好的主影像进行配准，并且将 DEM 范围裁剪成与主影像范围一致，具体步骤如下：

- a) 应对 DEM 采样成与主影像一致的分辨率；
- b) 将 DEM 与主影像进行配准，配准精度应优于 0.5 个像元；
- c) 依据配准关系式，计算生成 DEM 坐标系到 SAR 影像坐标系的转换查找表；
- d) 依据转换查找表，利用多项式拟合算法，将 DEM 转换到 SAR 影像坐标系，生成影像坐标系下的 DEM。

6.3.5 干涉相位计算

对已配准主辅影像进行前置滤波，并计算生成干涉图，具体步骤如下：

- a) 前置滤波。在频率域，截取主、辅影像的公共频带进行前置滤波，生成滤波后的主、辅影像；
- b) 干涉相位计算。对已经过前置滤波的主辅影像像元对进行共轭相乘，生成干涉相位值，逐像元计算生成干涉图。

6.3.6 差分干涉计算

6.3.6.1 平地与地形相位去除

依据空间基线参数和地球椭球体参数，计算平地相位；利用配准后 DEM，计算地形相位。从干涉相位中去除平地与地形相位，生成差分干涉相位，逐像元计算生成差分干涉图。

6.3.6.2 差分干涉图滤波

宜选用自适应滤波方法，对干涉图差分相位滤波，得到滤波后的差分干涉图。

6.3.6.3 相干系数计算

依据相干系数计算公式，对经过滤波的主辅影像差分干涉相位像元，选择窗体大小，逐像元计算相干系数，生成相干图。

6.3.6.4 相位解缠

对相位缠绕的差分干涉图进行解缠，具体步骤如下：

- a) 宜采用空间域二维相位解缠方法，主要包括最小费用流法、枝切法等；
- b) 干涉图整体相干性较低时，宜采用基于不规则格网的最小费用流法依据相干图，对相干系数大于 0.2 的像元进行相位解缠；
- c) 干涉图整体相干性较高时，宜采用枝切法进行相位解缠。对于不连续的“孤岛”区域，可采用手动连接方式设定枝切线，连接解缠区域；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/457125152042010001>