

# 团 标 准

T/CES XXX-XXXX

## 输电线路走廊地质形变 InSAR 监测作业 规范

InSAR monitoring Operation specification of geological deformation in  
transmission line ROWs

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布



# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 符号、代号和缩略语 .....	4
5 基本要求 .....	5
6 数据选择 .....	5
6.1 数据收集 .....	5
6.2 SAR 影像选择要求 .....	5
6.3 SAR 影像质量要求 .....	5
6.4. DEM 数据质量要求 .....	6
6.5. 辅助数据质量要求 .....	6
7 数据处理 .....	6
7.1 基本要求 .....	6
7.2 方法选择 .....	6
7.3 数据处理流程 .....	11
8 数据应用 .....	12
8.1 数据分析 .....	12
8.2 数据结果 .....	12
8.3 专题图 .....	12
8.4 报告成果 .....	13
附录 A (资料性) 常见星载 SAR 影像参数 .....	14
附录 B (规范性) DS-InSAR 数据处理流程 .....	15
附录 C (资料性) 成果专题图参考样式 .....	17
附录 D (资料性) 输电线路通道地表形变 InSAR 监测分析报告参考样式 .....	23
参考文献 .....	25

## 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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会电力不停电检修技术与装备工作组归口。

本文件起草单位：云南电网有限责任公司输电分公司、国网冀北电力有限公司、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、国网甘肃省电力公司、国网甘肃省电力公司酒泉供电公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院、广西电网公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司超高压输电公司、国网湖北省电力有限公司超高压公司、国网吉林超高压输电公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司百色局、广西电网有限责任公司南宁供电局、中国电力科学研究院有限公司、国网电力空间技术有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司东莞供电局、北京深蓝空间遥感技术有限公司。

本文件主要起草人：张智华、王洪武、范硕超、卢毅、于竞哲、黄晓胤、王文卓、王关霖、马成龙、谭芳雄、张益明、孔晨华、冯超、刘洪驿、兰青、黄志都、魏瑞增、王身丽、刘毅、李睿、谭永殿、陈刚、刘英龙、付晶、韦恩惠、徐思卿、叶宽、周恺、柳竺江、吴磊、尹治平。

本文件为首次发布。

# 输电线路走廊地质形变 InSAR 监测作业规范

## 1 范围

本文件规定了卫星遥感合成孔径雷达干涉测量（InSAR）技术在输电线路通道地表形变监测中的数据选择、处理和应用的要求。

本文件适用于 35kV 及以上电压等级交直流输电线路通道地表形变 InSAR 监测，其他电力设施可参照执行，输电线路规划设计阶段宜参考执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 12340 1:25000 1:50000 1:100000 地形图航空摄影测量内业规范

GB/T 15968 遥感影像平面图制作规范

DZ/T 0283 地面沉降调查与监测规范

DB41/T 2290 地面沉降干涉雷达监测规范

DD2006-02 地面沉降监测技术要求

DD2011-02 遥感解译地质图制作规范

DD2014-11 地面沉降干涉雷达数据处理技术规程

DD2015-01 地质灾害遥感调查技术规定

T/CAGHP 013-2018 地质灾害 InSAR 监测技术指南（试行）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 地表形变 ground deformation

在自然和（或）人为因素作用下，地表产生的升降、倾斜、错动等现象。表现形式主要有地面沉降、滑坡、崩塌、地面塌陷、地裂缝等。

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

对同一地区不同期次 SAR 数据中的相位信息进行干涉计算的技术，本文件中特指利用 SAR 数据提取地质灾害区域形变的技术，简称干涉测量，包括差分合成孔径雷达干涉测量、时序合成孔径雷达干涉测量。

### 3.3 差分合成孔径雷达干涉测量 differential InSAR

对干涉相位进行差分处理，包括去除地形、平地和基线等相位分量以获取形变信息的干涉测量方法。

### 3.4 时序合成孔径雷达干涉测量 time series InSAR

通过长时间序列的 InSAR 分析，去除或削弱大气、地形、轨道、高程误差，获取高精度时间序列地表形变信息的 InSAR 数据处理方法，包括永久散射体合成孔径雷达干涉测量、短基线集合成孔径雷达干涉测量等。

### 3.5 永久散射体合成孔径雷达干涉测量 persistent scatterer InSAR

对长时间序列 SAR 影像集中的永久散射体进行时间和空间域形变量计算，以提取高精度时序形变信息的干涉测量方法。

### 3.6 短基线集合成孔径雷达干涉测量 small baseline subsets InSAR

利用时间和空间基线均小于给定阀值的干涉像对构成多个差分干涉图集,对相干像元的差分相位序列进行时序分析,以获取相干像元时序形变量的干涉测量方法。

3.7

**分布式目标合成孔径雷达干涉测量 distributed scatterer InSAR**

通过识别和分析长时间序列 SAR 影像集中的分布式散射体进行时间和空间域形变量计算,以提取更多形变监测信息的干涉测量方法。

3.8

**空间基线 spatial baseline**

同一地区两景 SAR 影像上同名点在卫星轨道上的连线。

3.9

**时间基线 temporal baseline**

监测同一地区的两景重复轨道 SAR 影像的时间差。

3.10

**点目标 point target**

合成孔径雷达图像中具有稳定、后向散射特性强的像元。这些像元的后向散射中存在一个占主导地位的散射体,其散射信号在很长时间范围内都能保持较高的干涉相干性。点目标的地物类型主要包括路灯、烟囱、广告牌、桥梁、大坝、建筑物等人工构筑物及裸露的岩石等自然目标。

3.11

**专题图 thematic map**

一种以特定主题、目的或问题为中心制作的地图。它通过特定图形、符号、颜色和标签等方式,将地理信息数据可视化呈现。

3.12

**形变异常区 abnormal deformation zone**

地表形变与周边区域存在明显差异的区域。

3.13

**形变速率 deformation rate**

形变速率指的是地表形变的变化速度,可以是地表隆起或下降的速率,或是地表位移的速率,通常用于描述地表形变的快慢程度。

3.14

**累计形变量 cumulative deformation**

一段时间内或特定事件引起的地表或地下的形变总量,包括地质灾害引起的地表隆起或下沉、岩石蠕变等各种形式的地质形变量,可反映地表的地质变化程度。

3.15

**雷达视线方向形变量 LOS displacement**

雷达视线方向形变量是指雷达观测到的目标物体在雷达视线方向上的移动距离,这个距离可以通过分析雷达发射和接收的电磁波相位差来计算得出,用于计算地表形变。

3.16

**时序位移曲线 time series displacement curve**

一种用来表示地表位移量随时间变化的图形。显示地表在一定时间内的形变量大小和形变趋势。

3.17

**输电线路地表形变隐患点 surface deformation hazard points in transmission lines**

与输电线路相关的地表形变现象,且可能存在潜在的灾害风险,并可能对输电线路运行安全构成潜在威胁的地点。

## 4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

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

InSAR: 合成孔径雷达干涉测量 (Interferometric SAR)

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

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

PS-InSAR: 永久散射体合成孔径雷达干涉测量 (Persistent Scatterer InSAR)  
 SBAS-InSAR: 短基线集合成孔径雷达干涉测量 (Small Baseline Subsets InSAR)  
 DS-InSAR: 分布式目标合成孔径雷达干涉测量 (Distributed Scatterer InSAR)  
 DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)  
 GIS: 地理信息系统 (Geographic Information System)  
 GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)  
 Shapefile: 形状文件 (Shape File)  
 SNR: 信噪比 (Signal-to-Noise Ratio)  
 SLC: 单视复数数据 (Single Look Complex)  
 CGCS2000: 中国大地测量 2000 坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)  
 WGS84: 世界大地测量系统 1984 (World Geodetic System 1984)  
 KS test: 柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验 (Kolmogorov-Smirnov test)  
 AD test: 安德森-达令检验 (Anderson-Darling test)  
 BWS test: 鲍姆加特纳-魏-辛德勒检验 (Baumgartner-Wei-Schindler test)

## 5 基本要求

输电线路通道地表形变 InSAR 监测应满足以下基本要求:

- a) 监测场景: 主要为地表形变易发或需重点监测的输电线路通道, 包括但不限于采空区、山体易滑坡区、重要输电通道、重要交叉跨越等典型场景;
- b) 监测范围: 不小于输电杆塔中心点连线 500m 缓冲区, 具体监测范围可根据输电杆塔周边环境确定;
- c) 监测频次: 每年宜进行不少于两次 InSAR 处理、更新地表形变数据, 可根据需要增加监测频次。

## 6 数据选择

### 6.1 数据收集

在开展 InSAR 数据处理前, 应收集监测范围相关数据, 包括:

- a) 覆盖监测范围的卫星合成孔径雷达 SAR 影像;
- b) 覆盖监测范围的 DEM (分辨率不小于 30 米);
- c) 输电线路杆塔坐标;

除上述数据, 建议收集可见光影像、一等和二等水准数据或 A 级 GNSS 数据等地面实测数据等资料数据。

### 6.2 SAR 影像选择要求

SAR 影像选择应满足以下要求:

- a) 获取频率: 应依据监测场景、监测任务等因素选择。在没有监测区地表形变先验知识情况下, 针对典型监测场景应每月获取不少于 1 期图像, 针对其他区域场景应每 3 个月获取不少于 1 期图像;
- b) 获取期数: 覆盖同一区域的时间序列 SAR 影像获取总期数宜不少于 15 期;
- c) 分辨率: 应根据监测场景、监测区范围大小选取。针对典型监测场景宜选择高分辨率 SAR 图像 (分辨率优于 3m), 针对其他区域场景宜选择中分辨率 SAR 图像 (分辨率 20m 左右);
- d) 波段: 应根据监测区地表地物覆盖情况选择。针对监测区地表植被较多情况, 宜选择波长较长、穿透性强的 L 波段图像; 针对监测区为城镇地区、建筑物较多情况, 宜选择波长较短的 X 波段图像; 针对其他情况, 宜选择波长适中的 C 波段或 S 波段图像。

### 6.3 SAR 影像质量要求

#### 6.3.1 单轨道 SAR 图像质量要求

对于单轨道 SAR 图像, 为了保证干涉图相干性良好, 应进行如下质量检查:

- a) SAR 图像获取方式应一致, 如拍摄模式、入射角、极化方式等; 如不一致, 应与数据提供方联系调换数据;
- b) SAR 图像应为 SLC 数据;
- c) SAR 图像获取范围应一致, 对于上下或左右偏移较多 (经验值为大于或等于总行数或总列数的 1/4) 的图像, 应及时调换;
- d) 上下相邻两景 SAR 图像的重叠率应大于或等于 10%, 以便于后期结果拼接, 避免监测结果出现漏洞。

### 6.3.2 多轨道 SAR 影像质量要求

当监测区范围较大, 需要多轨道 SAR 图像进行覆盖时, 除了各轨道图像满足 6.3.1 要求外, 还应满足以下要求:

- a) 相邻轨道 SAR 图像获取时段与间隔宜一致, 以便于地表形变监测结果一致;
- b) 相邻轨道 SAR 图像应有足够的重叠区域 (左右重叠率应大于或等于 10%), 以便于后期结果拼接, 避免监测结果出现漏洞。

## 6.4 DEM 数据质量要求

DEM 数据覆盖范围应大于监测范围, DEM 格网 (包含坐标和高程信息) 间隔与干涉图分辨率相差应不超过 5 倍, DEM 高程垂直精度不应低于所选比例尺地形图地形点的精度且优于 15m, 应满足大地基准和高程基准要求。

## 6.5 辅助数据质量要求

辅助数据主要为地面实测数据, 包括一等和二等水准数据或 A 级 GNSS 数据等, 应满足如下要求:

- a) 地面实测点数目宜不少于 30 个, 且宜均匀分布于监测区;
- b) 频率应尽量与 SAR 影像时间对应, 若无法满足监测需求, 则应至少每年一次, 起止时间应与 SAR 影像监测起止时间对应或相近; 若地面实测时间与 SAR 图像获取时间不一致, 宜采用内插方法使二者时间同步;
- c) 水准数据精度应符合 GB/T 12897 的相关规定;
- d) GNSS 数据精度应符合 GB/T 18314 的相关规定。

# 7 数据处理

## 7.1 基本要求

InSAR 数据处理应满足以下要求:

- a) InSAR 数据处理应包括数据预处理、差分干涉计算、变形量计算等步骤;
- b) 宜优先使用带有精密轨道的卫星遥感数据;
- c) 数据处理过程中应进行轨道趋势误差去除;
- d) 若具有与卫星同步拍摄的大气数据, 宜进行去除大气延迟误差操作;
- e) 影像配准影像裁剪后的区域应不小于监测区范围 (宜按照矩形等规则形状边界裁剪);
- f) InSAR 数据处理结果应进行地理编码。

## 7.2 方法选择

宜采用“粗查、详查”结合的方法实现对输电线路走廊的全域覆盖。“粗查”宜以覆盖范围大、分辨率较低的数据为主, 主要使用 D-InSAR、PS-InSAR、SBAS-InSAR 方法; 在此基础上, 针对重要线路、形变较大区域及特巡区段等监测精度要求较高区段, 宜以高分辨率的数据进行“详查”, 采用 PS-InSAR 和 SBAS-InSAR、DS-InSAR 等时序合成孔径雷达干涉测量方法。输电走廊场景 InSAR 方法选取可参照表 1:

表 1 常见输电走廊场景 InSAR 方法适用范围

场景	监测对象	方法	最少数据量	常用波段	监测应用条件	最高监测
----	------	----	-------	------	--------	------

			(景)			精度
1	采空区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。采空区的建筑区域宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
2	山区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	适用于山区的地质灾害早期识别与监测,能较好减弱大气延迟的影响。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被分布较广的山区,无需考虑时空基线、主影像选择等问题。可获取地表形变时间序列信息。	mm
3	高原区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	适用于高原区的地质沉降区和地质灾害早期识别与监测,能较好减弱大气延迟的影响。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖分布较广的区域,无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
4	城镇区域	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时序信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域具有较多散射体,适宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
5	频繁降雨区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时序信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域适宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取非城镇区域的地表形变时间序列信息。	mm
6	地震带	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气情况,以避免受到时间去相干和大气的影响。适用于震后形变场反演与灾情紧急	cm

					评估。不能获取地表形变时间序列信息。	
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
7	黄土区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
8	冻土区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,地表散射性强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm
9	盐湖区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,边坡地表散射性强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖较密的边坡区域,无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
10	岩溶区	DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖较密的区域,无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	cm
		D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	mm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,地表散射性强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm
9	人类工程活动区(如高铁、高速等施工工地)	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,高铁、高速等工程区域宜采用该方法。	mm

					法。	
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息, 高铁、高速等工程边坡区域宜采用该方法。	mm
10	重要交叉跨越, 特殊通道、重要同走廊、大跨越, 核电主要联络线路、跨境联网线路(包括港澳联网线路、周边国家联网线路)、保底电网线路	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。建议采用高分辨率影像。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境, 形变精度受永久散射体密度影响, 高铁、高速、建筑等工程区域宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
11	其他区域	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm

场景	监测对象	方法	最少数 据量 (景)	常用波 段	监测应用条件	最高 监测 精度
1	采空区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
2	山区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	适用于山区的地质灾害早期识别与监测, 能较好减弱大气延迟的影响。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被分布较广的山区, 无需考虑时空基线、主影像选择等问题。可获取地表形变时间序列信息。	mm
3	高原区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	适用于高原区的地质沉降区和地质灾害早期识别与监测, 能较好减弱大气延迟的影响。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖分布较广的区域, 无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm

4	城镇区域	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时序信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域具有较多散射体,适宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
5	频繁降雨区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时序信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域适宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取非城镇区域的地表形变时间序列信息。	mm
6	地震带	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响。城镇区域宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
7	黄土区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。	mm
8	冻土区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,地表散射性较强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm
9	盐湖区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况,以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境,形变精度受永久散射体密度影响,边坡地表散射性较强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题,可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm

		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖较密的边坡区域, 无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
10	岩溶区	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境, 形变精度受永久散射体密度影响, 地表散射性较强则采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。地表散射性较弱则采用该方法。	mm
		DS-InSAR	20	L、C、X	适用于地形复杂、植被覆盖较密的区域, 无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
9	人类工程活动区（如高铁、高速等施工工地）	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和晴朗无云天气的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。不能获取地表形变时间序列信息。	cm
		PS-InSAR	8	L、C、X	适用于时间间隔长、天气状况差异大的环境, 形变精度受永久散射体密度影响, 高铁、高速等工程区域宜采用该方法。	mm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息, 高铁、高速等工程边坡区域宜采用该方法。	mm
10	重要交叉跨越, 特殊通道、重要走廊、大跨越, 核电主要联络线路、跨境联网线路（包括港澳联网线路、周边国家联网线路）、保底电网线路	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。建议采用高分辨率影像。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm
11	其他区域	D-InSAR	2	L、C、X	适用于时间间隔短和天气/季节接近的情况, 以避免受到过多的时间去相干和大气的影响。	cm
		SBAS-InSAR	25	L、C、X	无需考虑时空基线、主影像选择等问题, 可获取地表形变时间序列信息。	mm

### 7.3 数据处理流程

#### 7.3.1 D-InSAR 处理流程

D-InSAR 输电通道地表形变监测数据处理流程包括影像配准、去平地效应、相位差分、干涉图滤波、相位解缠、地理编码等步骤。具体处理流程参照 T\_CAGHP 013-2018 中 5.1。

#### 7.3.2 PS-InSAR 处理流程

PS-InSAR 输电通道地表形变监测数据处理流程主要包括数据预处理、差分干涉计算、时间/空间域变形估算、地理编码等。具体处理流程参照 T\_CAGHP 013-2018 中 5.2。

### 7.3.3 SBAS-InSAR 处理流程

SBAS-InSAR 输电通道地表形变监测数据处理流程主要包括数据预处理、差分干涉计算、时间/空间域变形估算、地理编码等。具体处理流程参照 T\_CAGHP 013-2018 中 5.3。

### 7.3.4 DS-InSAR 处理流程

DS-InSAR 输电通道地表形变监测数据处理流程主要包括差分干涉、同质像元选取、时序相位优化、时序形变结算等。详见附录 B。

## 8 数据应用

### 8.1 数据分析

8.1.1 针对不同的地形，在平原等地形起伏较小的区域，输电线路杆塔基础所在地表形变多趋向于垂直向形变，确定形变的异常区域宜选择沉降漏斗区。在山区，与当地地形相适应，形变区域边界宜选取与坡体范围相符合的斜坡边界。

8.1.2 在进行异常区域或隐患区选取时应依据时间序列 InSAR 中的形变时间序列的单调性以确定形变的可靠程度，平原区可计算垂直向形变确定形变危险等级，山区斜坡区域，应考虑地形对 InSAR 形变的敏感度，选取坡向形变确定形变危险等级。

8.1.3 应考虑利用不同轨道（如升、降轨）监测结果进行交叉验证，确定升降轨均监测到的区域为形变区。

8.1.4 形变异常区的阈值可参考 DD 2014-11 中地面沉降严重程度分级表进行确定。

### 8.2 数据结果

8.2.1 基于 InSAR 地表形变监测的数据成果类型见表 2。

表 2 基于 InSAR 地表形变监测的数据成果类型

序号	数据类型	单位	数据成果格式
1	点目标形变速率数据	毫米/年 (mm/a)	Shapefile 矢量/EXCEL 表格
2	点目标累计形变量数据	毫米	Shapefile 矢量/EXCEL 表格
3	点目标时序位移数据	毫米	Shapefile 矢量//EXCEL 表格
4	插值形变速率数据与插值累计形变量数据	毫米/年 & 毫米	TIFF 栅格
5	形变异常区数据	个	Shapefile 矢量
6	输电线路地表形变隐患点数据	个	Excel 表/Shapefile 矢量

### 8.3 专题图

#### 8.3.1 专题图类型

8.3.1.1 应提交覆盖整个监测区域的成果专题图，专题图类型见表 3。

表 3 监测区域成果专题图类型

序号	专题图类型	信息载体类型
1	监测区点目标形变速率图	点目标
2	监测区点目标累计形变量图	点目标
3	监测区形变速率热力图	面图像
4	监测区累计形变热力图	面图像

8.3.1.2 宜提交形变异常区成果专题图，专题图类型见表 4。

表 4 形变异常区成果专题图类型

序号	专题图类型	信息载体类型
----	-------	--------

1	形变异常区形变异常区分布图	线矢量
2	形变异常区点目标形变速率图	点目标
3	形变异常区点目标累计形变量图	点目标
4	形变异常区形变速率热力图	面图像
5	形变异常区累计形变热力图	面图像
6	形变异常区点目标时序位移曲线图	点目标

### 8.3.2 制图要求

#### 8.3.2.1 成果专题图以能清晰表达和分辨图面内容为原则, 制图应符合下列规定:

- a) 成果专题图应满足基本图面要素要求, 图面要素、图式、图例和制图比例尺等应满足 GB/T 15968、DD2011-02 和 DD2006-02 相关要求;
- b) 制图坐标系应采用电网常用的地理坐标系统, 如国家 CGCS2000 等标准坐标系, 特殊情况下宜采用地方独立坐标系;
- c) 专题图宜按监测专题进行工作区分幅, 特别需要时可按国家标准分幅。

#### 8.3.2.2 各类成果专题图参考样式见附录 C, 制图应符合下列规定:

专题图按照范围分为监测区整体监测图和形变异常区局部监测图两类, 各类成果图应符合以下要求:

- a) 成果专题图均应采用 SAR 强度影像、光学遥感影像、地形图、DEM 阴影图、地质图中的某一种作为底图, 以表达信息丰富、清晰、易分辨为原则; 图中宜添加行政边界等地标, 涉密信息不可进行叠加或标注;
- b) 监测区整体监测图应包含形变信息、监测范围、杆塔坐标、经纬度网格、图例、比例尺、指北针等要素;
- c) 形变异常区局部监测图应包含形变信息、形变异常区范围、形变异常区标注、杆塔坐标、经纬度网格、图例、比例尺、指北针等要素;
- d) 成果专题图还宜按照不同形变信息载体进行以下区分:
  - 1) 形变信息载体为点目标, 形变信息无需透明显示, 形变速率属性值应按照 DD2014-11 中地面沉降严重程度分级表进行分级设色, 累计形变量宜基于自然间断点进行分级并渐变显示;
  - 2) 形变信息载体为线矢量, 其应与其它线要素进行明显颜色区分, 宜采用紫色以区分于形变点目标和面图像信息;
  - 3) 形变信息载体为面图像, 除了按照 d) 中要求进行形变信息分级设色外, 形变信息还应与底图进行透明叠加显示, 形变信息叠加权重应不小于 60%。

### 8.4 报告成果

#### 8.4.1 输电线路通道地表形变 InSAR 监测分析报告格式参考附录 F, 报告内容应至少包括监测依据、监测区的范围、InSAR 监测与分析、结论、报告形变附表。

附录 A  
(资料性)  
常见星载 SAR 影像参数

目前可用于干涉测量的常见星载 SAR 影像参数见表 A.1。

表 A.1 常见星载 SAR 影像参数

星载 SAR 系统	LT-1	GF-3	TY(涪城一号)	TerraSAR-X/ TanDEM-X	COSMO-Sky Med	Radarsat-2	ALOS-2	Sentinel-1	天绘二号
所属国家或机构	中国	中国	中国	德国	意大利	加拿大	日本	欧空局	中国
运行时间	2023 年-	2016 年-	2022 年-	2007 年-	2007 年-	2007 年-	2014 年-	2014 年-	2019-
轨道高度/km	607	755	508	514	620	798	628	700	519
波段 /cm	L(23)	C(5.6)	C(5.6)	X(3.1)	X(3.1)	C(5.6)	L(22.9)	C(5.6)	X(3.1)
极化方式	全极化	多极化	单极化	全极化	HH/VV	全极化	全极化	单极化/双极化	HH
侧视角 /°	10-60	10-60	15-40	20-55	19.7-45.5	10-59	8-70	18.3-47	35-46
重访周期/天	单星 8 双星 4	3	2-3	11	16	24	14	12	19
分辨率 /m	3-30	1-500	1	1-16	1-100	3-100	3-100	3-20	3
图像幅宽/km	30-400	10-650	25	15-100	15-200	20-500	25-490	20-400	30

**附录 B**  
 (规范性)  
**DS-InSAR 数据处理流程**

### **B.1 影像粗配准**

选取 SLC 数据集中间时刻的数据作为主影像，其余影像作为辅影像，将主辅影像组成像对，每个像对中基于主影像对辅影像进行粗配准。依据卫星轨道数据，选择配准算法，设置配准参数，对每个像对进行配准计算，识别主、辅两幅影像中的同名点。基于同名像素点间的像素坐标偏移量，对辅影像进行平移，使两景影像同名点对应同一地面分辨单元。

### **B.2 影像精配准**

在粗配准的基础上，通过同名点坐标或其偏移量建立主影像到辅影像的坐标映射关系，基于坐标映射关系对辅影像进行坐标变换、影像插值和重采样。

### **B.3 生成干涉图**

基于组合像对，对每个像对中的影像进行共轭相乘，生成干涉图。在干涉图质量较差的情况下，可以使用空间域滤波和频率域滤波等方法抑制噪声。

### **B.4 平地相位去除**

对原始干涉相位图进行去平地相位处理，以使得干涉条纹变得稀疏，降低相位梯度变化。平地相位主要有两种方法，一是根据干涉相位图估计得到条纹频率，然后予以去除；另一种是根据干涉几何和系统参数计算得到条纹频率，然后予以去除。。

### **B.5 计算初始差分干涉点图**

利用得到的模拟地形相位去除干涉相位中的地形相位，生成差分干涉图。一般情况下由于地形相位包括模拟地形相位和残余地形相位，地形相位无法被完全去除。步骤 3-5 统称为差分干涉。

### **B.6 识别同质像元 SHP**

基于 KS 检验、AD 检验、BWS 检验等同质点识别算法，使用统计验证的方法识别每一个像素的同质像元 SHP。

### **B.7 空间自适应滤波**

使用空间域自适应滤波的方法估计 DS 目标的干涉相位，同时基于影像的相干性、强度信息等因素设置阈值筛选 DS 目标。

### **B.8 相位优化**

基于 DS 目标同质像元，在相位信息满足相位一致性的情况下，通过使用最大似然估计法、相位三角算法、特征值分解法等算法得到相位优化值，以完成 DS 目标干涉相位优化。

#### **B.9 相位解缠**

使用最小费用网络流算法、枝切法等相位解缠方法对每个 DS 点相位进行解缠计算，确定每一 DS 点的相位差整周数，获得解缠后的相位值。

#### **D.10 形变结算**

基于相位信息，利用相位转形变公式计算形变值，并基于 SAR 雷达坐标系与地理坐标系的关系，对形变信息进行地理编码，获得其对应的地表具体位置的高程或沿雷达斜距方向上的地表位移量，

附录 C  
(资料性)  
成果专题图参考样式

C.1 监测区域的成果专题图

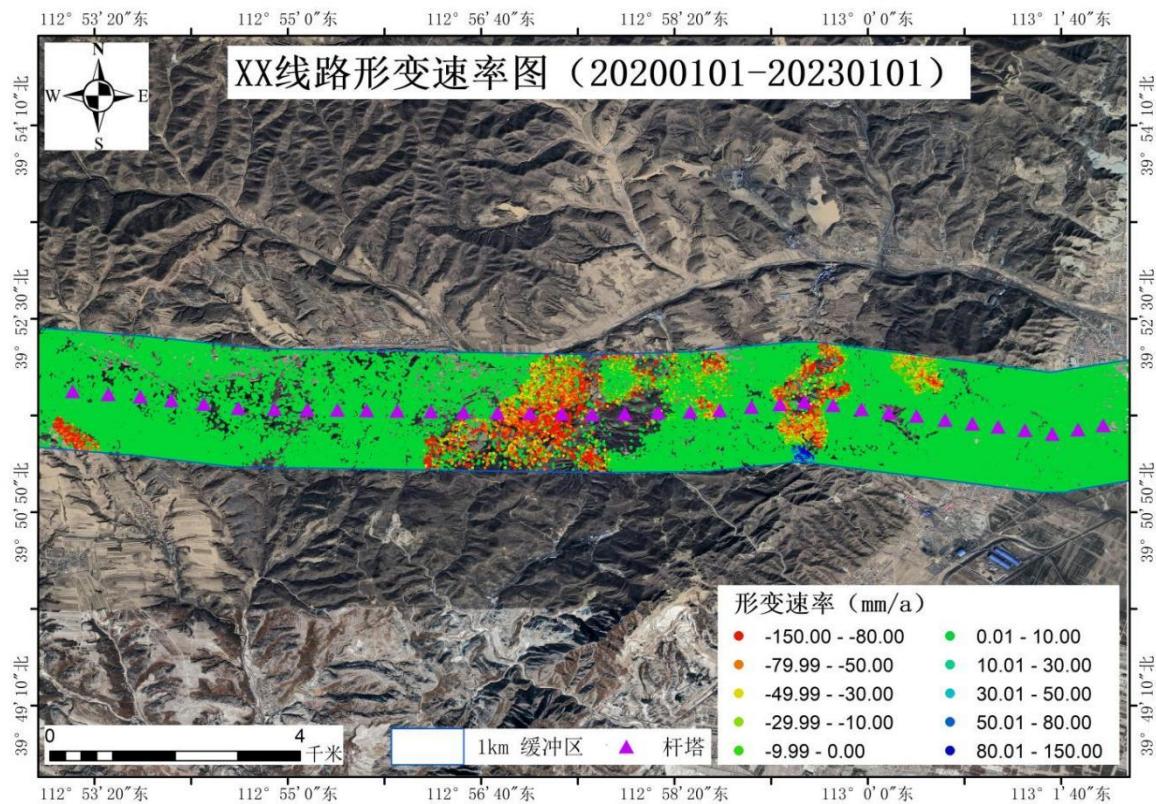


图 C.1 点目标形变速率图

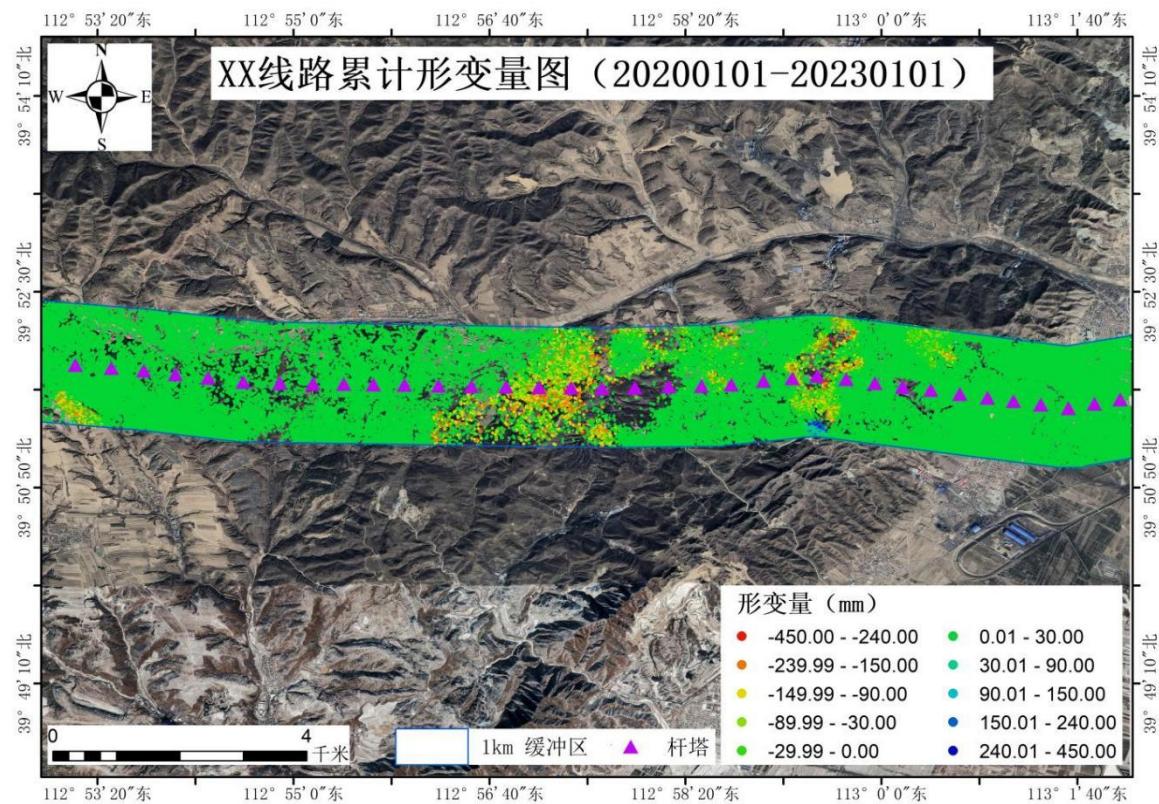


图 C.2 点目标累计形变量图

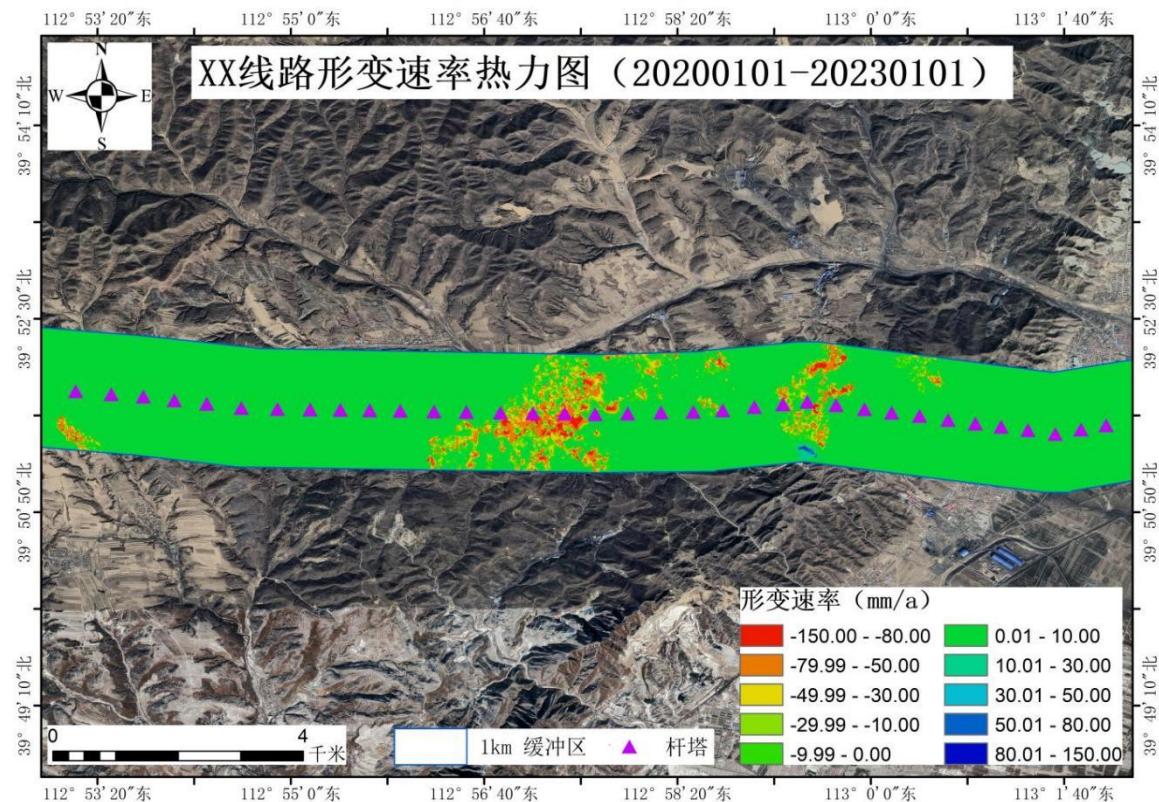


图 C.3 点目标形变速率热力图

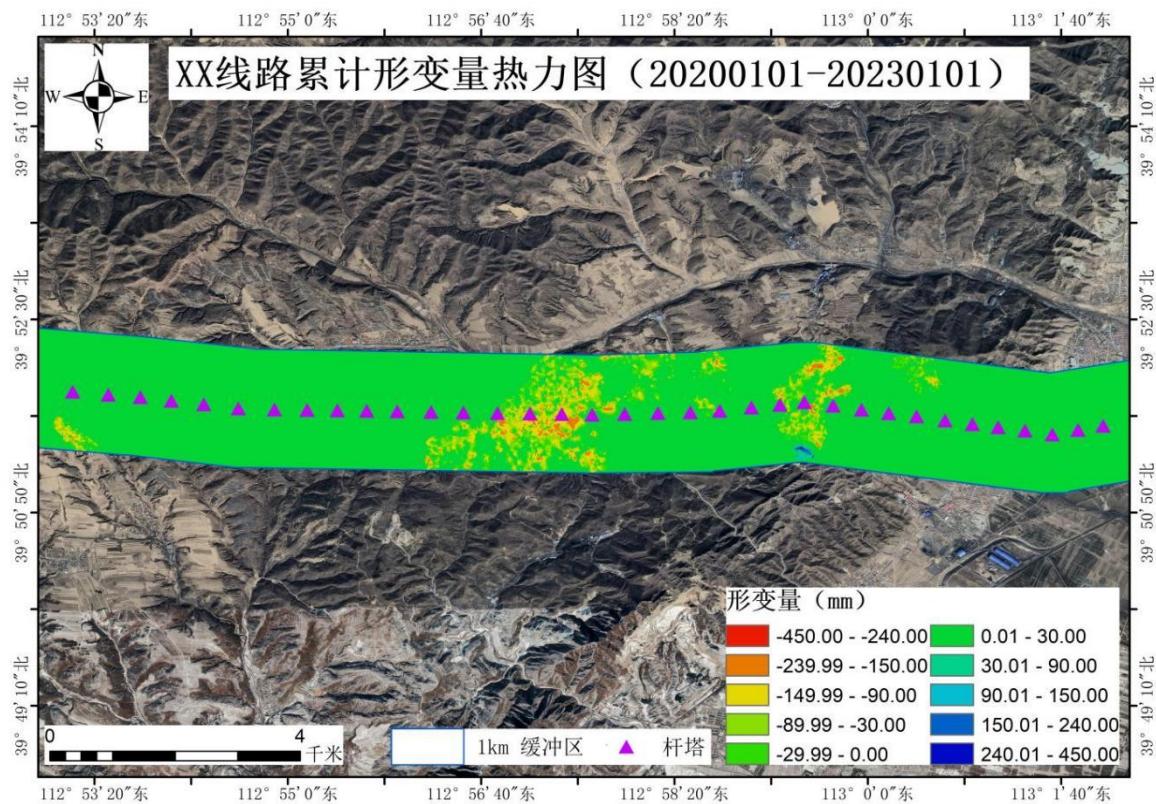


图 C.4 点目标累计形变热力图

## C.2 形变异常区成果专题图

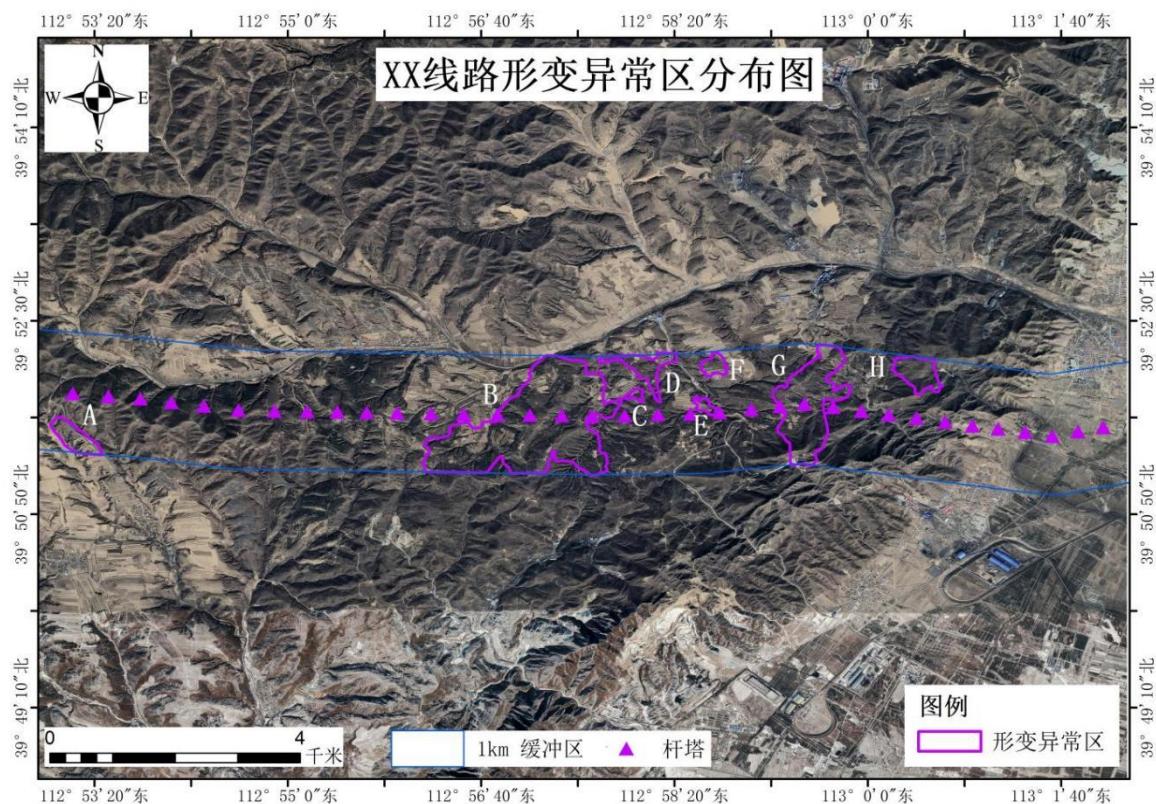


图 C.5 形变异常区分布图

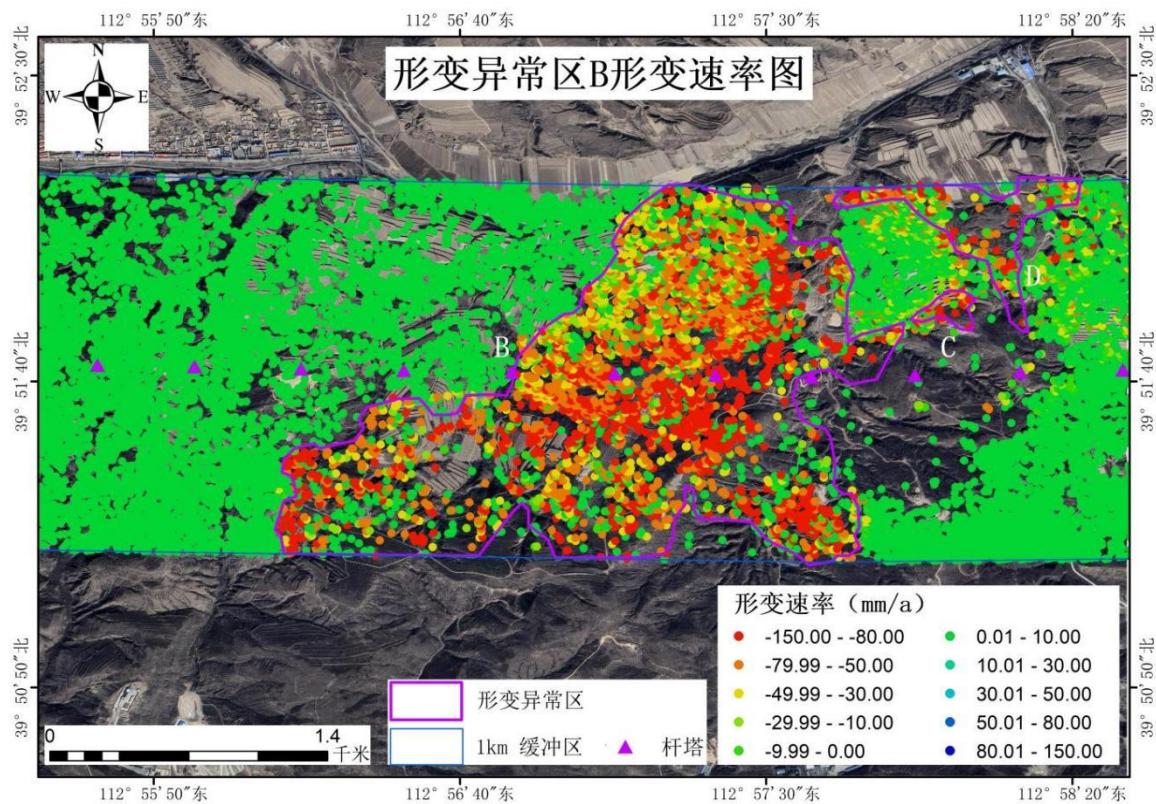


图 C.6 形变异常区点目标形变速率图

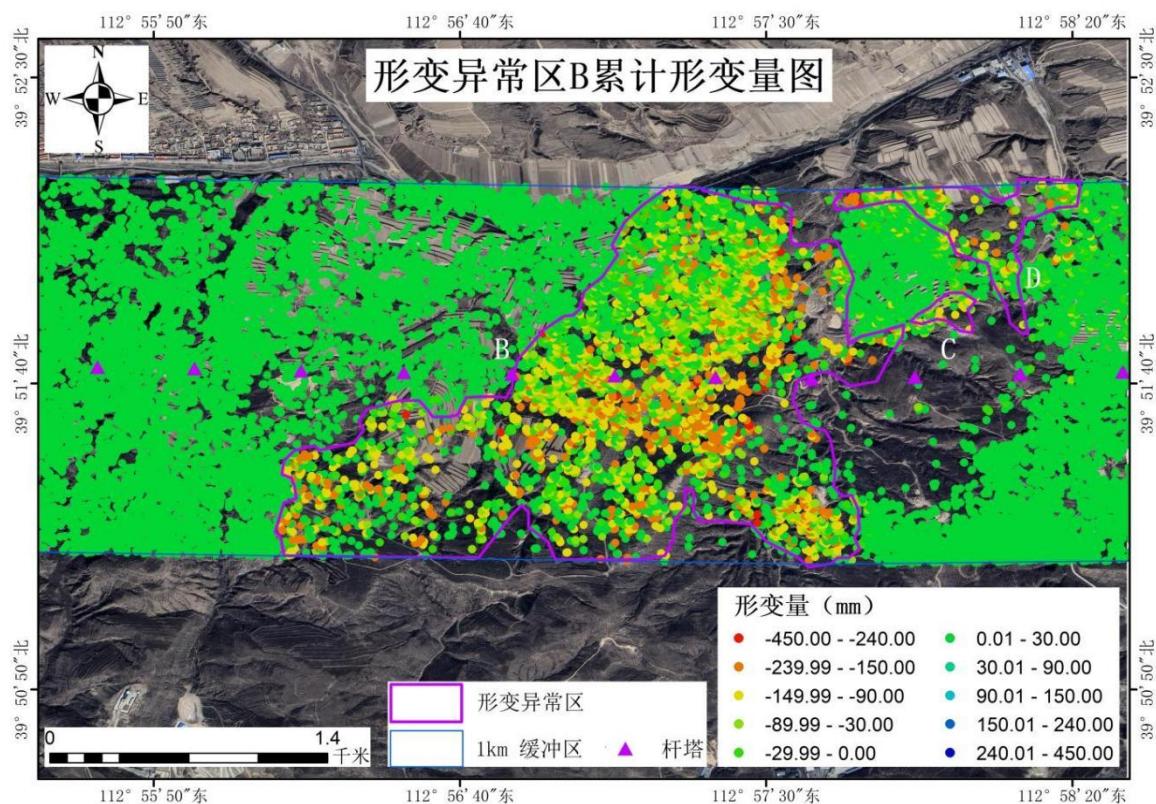


图 C.7 形变异常区点目标累计形变量图

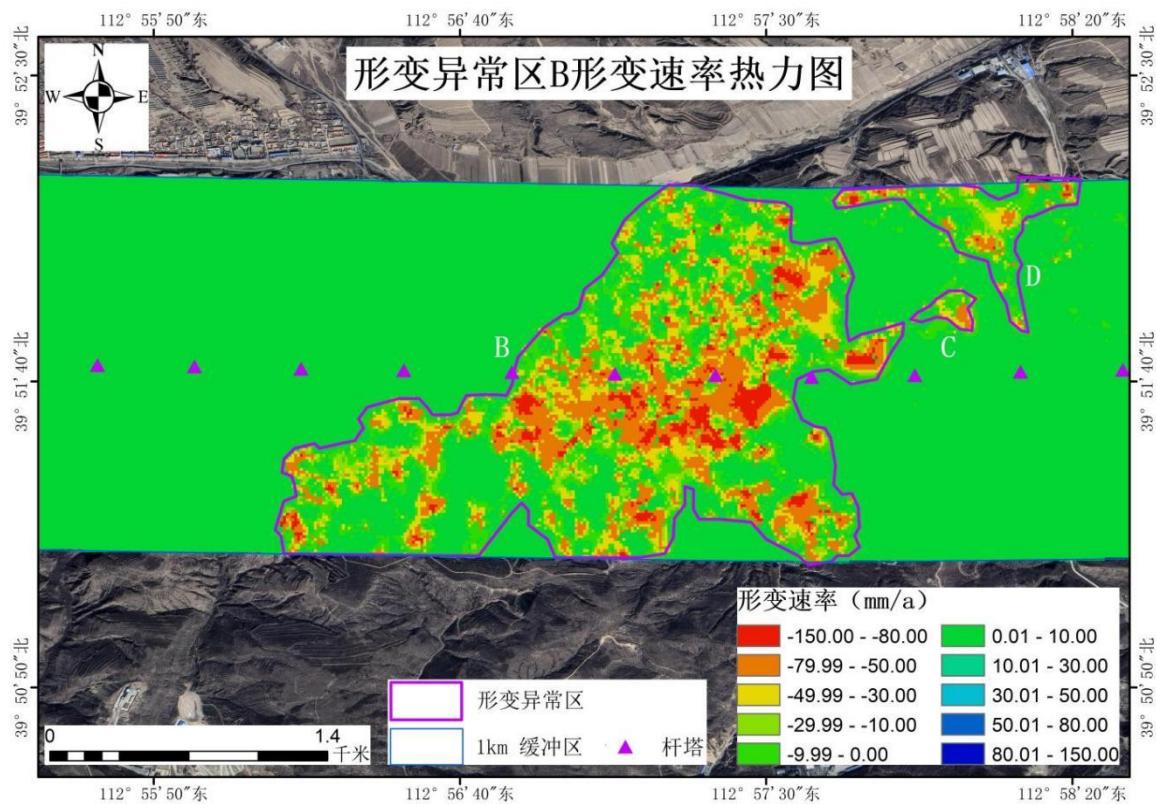


图 C.8 形变异常区形变速率热力图

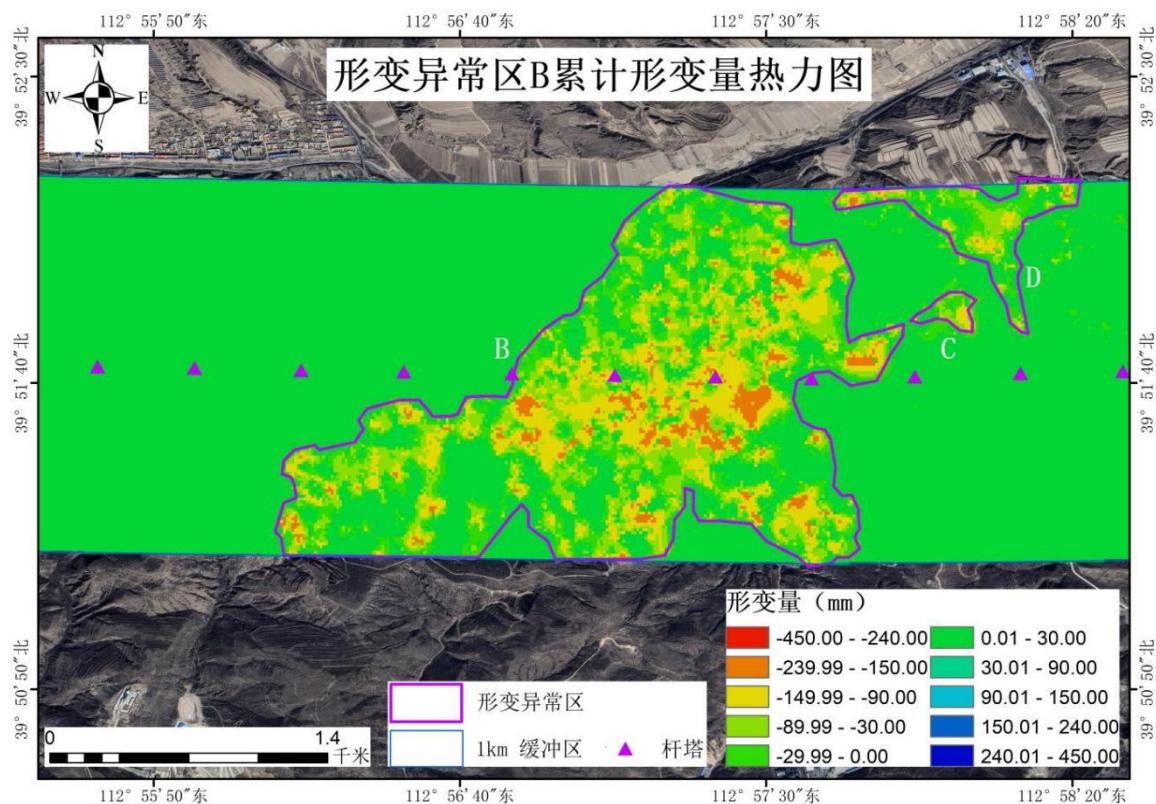
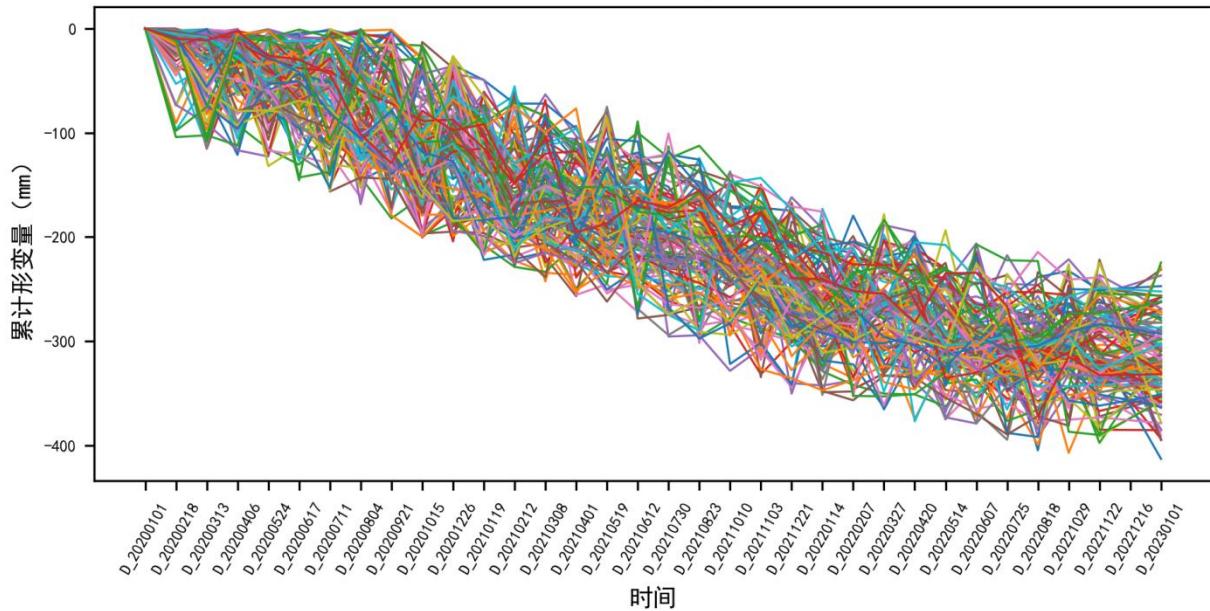
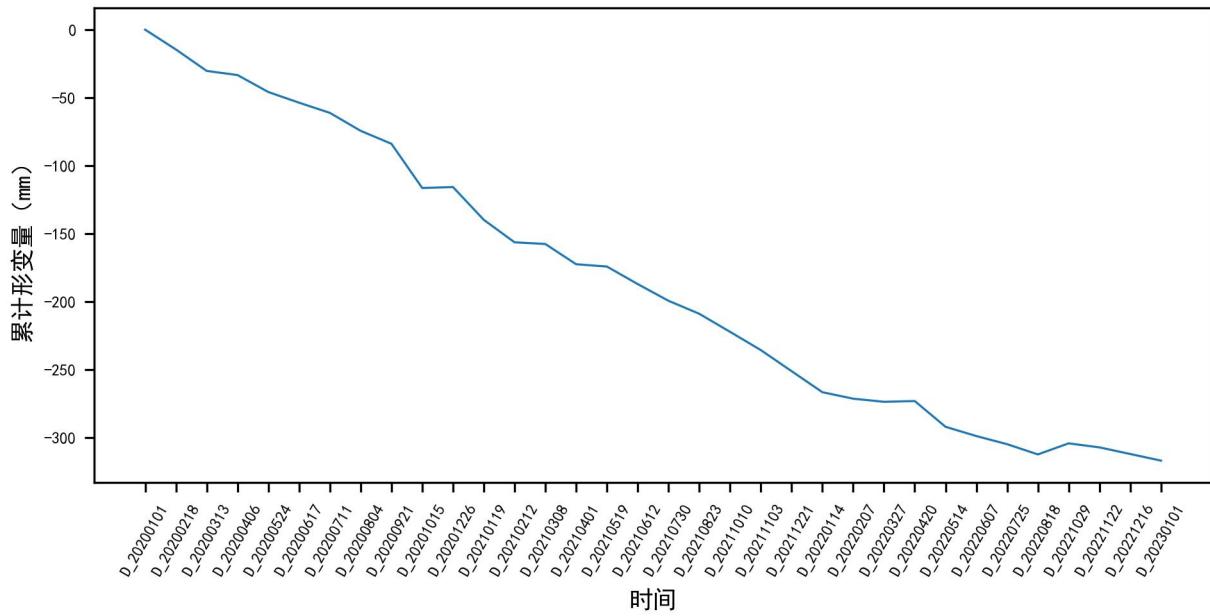


图 C.9 形变异常区的累计形变热力图

C 区域时序形变曲线



C 区域平均时序形变曲线



说明：

1——“yyyymmddN”表示第 N 景 SAR 影像的成像日期，如 2018 年 1 月 1 日表示为“20180101”。

图 C.10 点目标时序位移曲线图

附录 D  
(资料性)  
输电线路通道地表形变 InSAR 监测分析报告参考样式

#### **D.1 监测目的及意义**

说明项目背景, 监测目的及意义。

#### **D.2 监测依据**

列举报告依据的相关规定、制度和标准等文件。

#### **D.3 测区概况与数据预处理**

##### **D.3.1 测区概况**

- a) 说明监测区的范围;
- b) 对监测区的地质、地形地貌、水文、气候条件和道路交通等内容进行简要介绍。

##### **D.3.2 数据选择及预处理**

基于监测区监测条件, 选择合适的 SAR 卫星遥感影像, 说明监测时间段与影像数量, 制作选用的 SAR 影像基础信息表 (主要包含监测时间、分辨率等信息), 进行 SAR 影像相关专题图展示, 如强度图, 地理编码的快视图等。

#### **D.4 InSAR 方法及处理流程**

##### **D.4.1 InSAR 方法原理**

简要说明选用的 InSAR 方法原理。

##### **D.4.2 InSAR 方法处理流程**

简要分步说明选用的 InSAR 方法处理流程 (含处理流程图)。

#### **D.5 InSAR 监测与分析**

依据监测成果专题图的生产先后, 进行监测成果图展示, 对应专题图下方应具有针对该专题图的详细分析, 专题图成果要求见本标准 8.3。

#### **D.6 结论**

总结形变监测与分析结果, 提出相关建议。

#### **D.7 报告形变附表**

进行形变分析成果的汇总, 包括形变异常区信息汇总表和形变隐患点信息汇总表等。

表格的属性信息及格式参考表 D.1。

**表 D.1 形变异常区信息汇总表 (形变隐患点信息汇总表)**

标注	坐标		具体位置	形变状况	最大形变速率	平均累计形变量	异常区面积	是否位于山区	土地利用类型	形变原因	异常区卫星图片
	经度	纬度									

### 参 考 文 献

- [1] GB 3101-93 有关量、单位和符号的一般原则
  - [2] DG/T J08-2051-2008 地面沉降监测与防治技术规程
  - [3] DD2006-02 地面沉降监测技术要求
  - [4] CH/T 6006—2018 时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范
  - [5] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
  - [6] 岳建平, 方露等著, 城市地面沉降监控理论与技术, 科学出版社, 2012 年
-