

InSAR 形变监测基准建立与高精度快速解算关键技术及应用

一、立项背景与意义

依托国家自然科学基金、水利部公益性行业科研专项，针对 InSAR 大范围形变监测实际应用问题，提出了在全国 GNSS 基准站并置角反射器，基于此攻克 InSAR 形变监测基准统一及海量 SAR 数据快速更新等难题，构建了顾及基准统一的高精度形变监测技术体系及应用平台，为大范围监测提供了标准化技术示范。研究成果在城市沉降监测、重大工程形变以及国内外科研单位得到了广泛的应用，经济效益和社会效益显著。

二、科技含量

1. 总体思路

利用 GNSS 基准站时间分辨率高、空间基准精度高、统一性好的特性，基于 SAR 目标点/GNSS 站时序联合处理分析，引入高精度空间基准，建立 InSAR 形变监测时空基准。同时突破兼容性和普适型角反射器研发、低相干区形变获取以及快速更新处理等技术难题，构建技术平台并示范应用。

2. 研究技术方案

(1) 基于角反射器/散射体的 InSAR 形变高精度基准建立

针对 InSAR 大规模广域工程化应用的需求，研究了 InSAR 与 GNSS 基准站时序联合分析，率先提出基于基准站长期连续监测数据解决 InSAR 形变参考点的优选和标校问题，实现在国家统一基准框架下 InSAR 形变的无缝拼接以及形变时序精化分析。

采用基于自适应窗口滑动时序相关性联合分析 InSAR 与 GNSS 时序，实现 InSAR 海量永久散射体快速分析与参考点准确优选；以 GNSS 基准信息标校 InSAR 形变参考点，优化 InSAR 形变基线解算平差模型；基于 GNSS 长期连续观测信息，实现顾及板块运动、地壳形变等运动信号的 InSAR 形变精化分析，提高监测精度。

（2）基于临时相干点的低相干盲区形变提取技术

针对 InSAR 低相干区缺乏永久散射体而无法获得形变以及建立地面关联的问题，研究短时间弧段相干的 TCS 点识别方法，弥补常规技术监测空白，获取短时间段相干散射体的高精度形变。

研究基于弧段相干性和相干时间段内观测值数量双重阈值的 TCS 点识别方法，以及基于极大似然估计方法（MLE）的目标点相位序列获取方法，提出了以 TCS 点与周边 DS 点或 PS 点构网的三维相位解缠方法，实现 DEM 误差、大气误差去除，以及 TCS 目标高精度形变时序的准确提取。

（3）海量 SAR 数据快速处理与变形结果更新技术

针对广域、高频灾害监测 InSAR 快速处理分析与形变时序及时更新需求，研究提出了快速处理技术（Rapid-SAR），大幅提升海量影像解算效率。

针对大范围高频次灾害监测中 InSAR 影像增补快、数据量大、处理耗时、形变结果更新慢等问题，研究基于年周期的序贯平差和基于协方差矩阵平稳估计的时空基准连续的新增 InSAR 影像快速处理方法，相较于传统技术解算效率提升约 10 倍。

（4）新型人工角反射器研发与应用

研发高度和角度可调、反射率高、适用于多轨多星、高反射率和使用效能的系列角反射器，解决升降轨联合获得高精度三维形变以及缺乏目标点区域形变参考基准精确标校难题。

研发了同时支持升降轨卫星的组装式新型系列角反射器，实现了基于升降轨雷达卫星轨道特点和入射角情况，自主调整面板位置、角度、优化角反射器的反射效率和使用效率，在国内外多个滑坡体上开展了示范应用。

三、技术创新

1. 首次提出在国家统一空间基准框架下处理分析 InSAR 形变，实现大范围 InSAR 监测统一参考、无缝拼接，提高形变监测精细化水平和精度。

提出 InSAR 地面目标点与 GNSS 框架点关联方法和实现

技术；提出 InSAR 与 GNSS 框架点时序相关性联合分析，以及优选和标校参考点方法，实现了 InSAR 形变基准统一；提出基于 GNSS 长期连续观测获取形变精细化模型，用于 InSAR 形变精化分析，提高绝对形变监测精度。

2. 突破常规形变目标点特性分析和数据处理方法，提出临时相干散射体技术 (TCS)，提高了失相干区域影像利用率、目标点数量和密度，弥补了形变监测空白；提出变形序列快速更新处理技术 (Rapid-SAR)，实现了大范围、高频形变监测数据处理效率，相较于常规处理效率提高约 10 倍。

提出的 TCS 技术实现了目标点的准确识别、相位序列获取、三维相位解缠及其形变序列提取；提出的 Rapid-SAR 技术实现了新增影像相位与形变快速精确估计。

3. 国际上首次提出兼容升降轨卫星的二面角设计，研制了高度/角度可调、反射率高、兼容多轨多星系列角反射器，支撑了多轨数据联合建立毫米级三维形变场的应用，解决了传统角反射器尺寸大、仅单星使用等实际问题。

首次发明支持升降轨、多入射角的二面角系列角反射器，解决了联合应用升降轨数据获取三维毫米级形变场问题；优化了组装和使用效能设计，解决了反射率低、尺寸大、安装复杂、成本高等实际问题，已在欧洲 GFZ 及国内多个部门推广应用。

4. 构建了顾及基准统一的高精度形变监测技术体系及应用平台，为广域自然灾害监测提供了规范化技术示范。

总结提炼了包含基础设施、系统软硬件、理论方法、技术模型、应用示范的高精度形变监测技术体系，实现了顾及基准统一的高精度形变快速处理与综合监测平台。

四、社会效益

自然灾害引发的次生灾害、人员损失和经济损失日趋严重，给国家自然资源保护、人民生命财产安全造成严重威胁。项目成果在北京、天津、山东、河北等省市地表沉降监测中得到应用，同时在三峡库区滑坡、厦门机场填海区、深圳水库群坝体、四川丹巴阿娘寨滑坡等形变监测中推广应用，新型角反射器在欧洲 GFZ 以及国内多家单位得到应用。

项目成果提高了形变监测精度，以及沉降灾害监测自动化、空间分析信息化、灾害预警预报智能化水平，有效保障了重要基础设施稳定和安全运营，对我国重大自然灾害和民生工程服务具有重要意义和实用价值，同时项目充分利用了已有基准站资源，在数据处理和角反射器方面大大节约了成本，具有显著的社会和经济效益。