

# 地基合成孔径雷达干涉测量技术在形变监测中的应用

田昆鹏

南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250000

**【摘要】**：地基合成孔径雷达干涉测量技术是近十几年发展起来的一种新型形变监测技术，能够对研究区域进行全天候、无接触式、面状的、厘米甚至毫米级的形变监测，已在大坝形变、地震形变、火山运动、矿区地表沉降等方面得到广泛应用。但存在空间分辨率较低、固定的重访周期、时间基线比较长等缺点。鉴于此，本文详细介绍了常用的地基合成孔径雷达干涉测量系统及其应用领域，并且对今后可能的发展方向提出了自己的见解。

**【关键词】**：GB-InSAR；大坝形变监测；丹江口大坝；PS-InSAR

## 引言：

地基合成孔径雷达干涉技术是 GB-InSAR 技术的另一种运用方式，运用于工程化的形变监测，是星载合成孔径雷达干涉测量技术很好的补充。近些年来，该技术不断发展，除了具有星载合成孔径雷达干涉测量技术所具有的一些优势外，还具有高分辨率、连续空间覆盖、受恶劣环境影响小、无需设置观测目标、安装简单与观测姿态灵活、真正零基线、后续数据处理工作较简单等优点，是对局部区域和独立建筑物或构筑物形变监测的一种新技术。

## 1. 地基合成孔径雷达干涉测量系统

### 1.1 IBIS-S 系统

该系统结合步进频率连续波、相位干涉测量两种技术研发而成，主要应用于建筑、桥梁、高层建筑物或构筑物的实时监测，强调的是对观测目标主体表面某些形变点的连续观测，需要配合一个三脚架来完成。

### 1.2 IBIS-L 系统

该系统结合步进频率连续波、合成孔径雷达、相位干涉测量 3 种技术研发而成，主要应用于大坝、边坡、滑坡、矿区及冰川等面状地物进行监测与分析，需要与一个线性水平轨道配套使用，从而利用合成孔径雷达技术。比如用 IBIS-L 系统对南水北调工程丹江口水库大坝进行形变检测试验，最大观察距离为 4000m，在 1000m 的位置检测分辨率为  $0.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ ，该系统功耗为 100W，质量为 130kg。丹江口水库大坝为混凝土面板堆石坝，坝高为 97m，坝顶高程为 176.6m，正常蓄水位为 175m，水库总库容为 290.5 立方千米。试验中 IBIS-L 系统架设于大坝正下游距离坝顶 170m 处，和大坝底部基本处在同一个水平面上，设备和大坝之间无遮挡物，设备位置稳定，雷达信号的发射能覆盖整个大坝，并尽量保证较小的入射角。整个大坝连续采集 1 次完整的数据约需 3min，IBIS-L 系统监控软件负责数据的采集、

管理、显示和处理。

### 1.3 IBIS-M 系统

该系统主要结合步进频率连续波、合成孔径雷达、相位干涉测量和永久散射体 4 种技术研发而成是对 IBIS-L 系统的更新换代，应用领域与 IBIS-L 系统相似，但更适用于露天矿边坡的形变监测，相比以上两个系统，能够对数据实时分析以矫正气候的影响，可以通过邮件将监测目标的预警发送给客户，实现监测结果与 GIS 软件的融合。

### 1.4 IBIS-F 系列

该系列的地基合成孔径雷达系统主要用到了线性调频连续波、合成孔径雷达、相位干涉测量和永久散射体 4 种技术与上述 3 种系统相比该系列更换了雷达类型，统一将线性调频连续波技术替换步进频率连续波技术，研发出 IBIS-FS、IBIS-FL、IBIS-FM 3 种系统，应用领域与上述 3 个系统相似。除了 IBIS 系列的地基雷达系统外，还有瑞士的 GPRI 系统、荷兰的 FastGBSAR 系统、意大利的 ARAMIS 系统、澳大利亚的 SSR 系统和中国的 S-SAR 系统。

## 2. 地基合成孔径雷达干涉测量的应用

### 2.1 地基合成孔径雷达在地形形变监测中的应用

由于星载合成孔径雷达干涉测量可以成功的对大坝的动态变化进行监测，因此可以利用地基合成孔径雷达干涉测量技术对大坝进行监测。选择南水北调工程的丹江口水库大坝作为研究对象，运用合成孔径雷达干涉测量技术，得到毫米级的短时间序列位移图及日均速率图，通过大坝高度计算出最大流速与运用其他遥感手段计算的最大流速一致，证明地基合成孔径雷达干涉测量技术有很大潜力对形变体进行监测。

地基合成孔径雷达干涉测量技术还能监测滑坡形变。使用地基合成孔径雷达干涉技术和传统经纬仪结合电子测距仪测量技术对大坝滑坡形变进行监测，并将结果进行比较。从监测结果中

看到, 位移区域逐渐增多, 在靠近滑坡的右侧位移最快, 达到了36mm/h。根据两种监测技术对基准点监测的比较, 基准点最大互差不超过3mm, 对比结果证实地基合成孔径雷达干涉测量技术能够胜任滑坡的变形监测。

通过星载合成孔径雷达干涉测量中永久散射体干涉(Permanent Scatterers Interferometric SAR, PS-InSAR)技术的基本原理是从一组时间序列 SAR 影像中选取相位信息稳定、不受时间、空间基线相关影响的高相干点进行影像处理。因为选取的点具有在时间序列影像中不受噪声影响, 长时间内仍然保持稳定的散射特性的特点, 故被称为 PS 点。PS 法的主要目的是克服时间空间去相关以及大气延迟对 SAR 影响干涉测量的影响。在滑坡监测中首次将 PS 技术应用到地基合成孔径雷达干涉测量中, PS-InSAR 技术能够有效地减弱地基 SAR 测量中的时间去相关和大气延迟误差, 对大气相位进行改正, 在大坝变形监测领域的可行性。

利用地形微变远程监测仪(IBIS-L)对丹江口水库滑坡体进行监测试验, 并且在监测区域内选取了3个点进行结果分析: 在1个月时间内, 每个点的变化量在10mm 范围内, 变化量相对较小, 得到毫米级监测结果, 进一步证明监测结果精度较高。

同样利用 IBIS-L 对某镇发生的滑坡进行监测, 监测结果与当地地质部门长期观测的结果非常吻合, 提供了一套可行的地基雷达干涉测量技术数据处理流程。

## 2.2 地基合成孔径雷达在建筑物/构筑物形变监测中的应用

利用地基合成孔径雷达干涉测量技术对南水北调中线工程丹江口大坝进行形变监测, 并将结果与已有历史数据进行比对,

## 参考文献:

- [1] 郭森,王玉洁.地基合成孔径雷达干涉测量技术在形变监测中的应用.测绘与空间地理信息,2018,41(12):141-144.
- [2] 刘斌,葛大庆,李曼,张玲,王艳,郭小方,张晓博.地基合成孔径雷达干涉测量技术及其应用.国土资源遥感,2017,29(1):1-6.
- [3] 朱茂,沈体雁,黄松,白书建,葛春青,胡琼.InSAR 技术地铁沿线建筑物形变监测.国土资源遥感,2019,31(2):196-203.
- [4] 麻德明,刘焱雄,徐文学,王彦兵,高兴国.GB-InSAR 的监测流程和关键技术.海洋开发与管理,2018,35(8):81-85.
- [5] 刘斌,葛大庆,李曼,张玲,王艳,郭小方,张晓博.地基合成孔径雷达干涉测量技术及其应用.国土资源遥感,2017,29(1):1-6.

两者高度吻合。这一研究证明地基合成孔径雷达干涉测量技术可用于监测建筑物形变。

利用 GB-InSAR 技术原理, 并利用 IBIS-S 系统在丹江口大坝坝体基岩处进行形变监测试验。测试结果表明测量精度能够达到0.1mm, 只有毫米级的微小沉降, 验证了地基雷达系统 IBIS-S 的高精度。这一结果与国内外其他学者的研究成果一致。将该技术运用到南水北调丹江口水库大坝的形变观测中, 通过实际案例验证了该技术可以精细地测量桥梁挠度的变化, 简单、快捷又高效。

通过使用地基合成孔径雷达干涉测量与三维 GIS 空间特征分析, 提供了一种新的在形变监测中应用该技术的思路。其针对露天矿边坡变形, 编写出一个监测系统, 实现对形变结果的分析、结果的导出、警报设置等功能。通过该系统, 运用 GIS 强大的图像显示功能, 能够进行多方面的数据分析, 了解污染强度, 比如实景图与形变图的叠加分析、三维图与形变图的叠加分析等, 得到位移、位移加速度、形变走势等衡量形变情况的关键信息。同时数据分析结果能够直观显示出来, 进一步推进了地基合成孔径雷达干涉测量技术在形变监测中的应用。

## 结论:

地基合成孔径雷达干涉测量技术是在 SAR 的基础上发展起来的一项新技术, 经过多年研究, 无论是硬、软件方面, 还是技术应用方面, 都取得了长足的发展, 已在地形形变监测及建筑物、构筑物形变监测得到了广泛应用。本文详细介绍了常用的地基合成孔径雷达干涉测量系统及其应用领域, 并且就今后可能的发展方向提出了自己的见解, 如果上述问题得以解决, 势必会进一步推动该技术在形变监测中的应用。