

基于 InSAR 技术的河道堤防工程沉降观测 ——以天津市环内海河干流河堤为例

冯东利¹ 杨 魁²

(1. 天津市北三河管理处, 天津 300381;
2. 天津市测绘院, 天津 300381)

摘 要: 以天津市环内海河干流河堤为实验区, 对时序 InSAR 分析的关键技术进行研究, 开展基于多期 Sentinel-1 数据和时序 InSAR 分析技术的河堤沉降监测方法的探索。通过综合分析监测成果, 海河干流环内河堤沉降整体相对稳定, 局部沉降较大处往往与周边的工地存在一定的关联性。

关键词: 合成孔径雷达; 河道堤防; 沉降观测; 海河

中图分类号: P23

文献标识码: A

文章编号: 1671-6558(2019)02-122-04

DOI: 10.3969/j.issn.1671-6558.2019.02.028

Subsidence Monitoring of River Bank with InSAR ——Taking the River Bank of Haihe in Tianjin as an Example

FENG Dongli¹ YANG Kui²

(1. Tianjin North Sanhe Management Office, Tianjin 300381, China;
2. Tianjin Institute of Surveying and Mapping, Tianjin 300381, China)

Abstract: Taking the riverbank embankment of the Inner Ring River of Haihe in Tianjin as the experimental area, the paper studies the key technologies of time series InSAR analysis, explores the embankment settlement monitoring method based on multi-period Sentinel-1 data and time series InSAR. Through comprehensive analysis of the monitoring results, it indicates that the subsidence of riverbanks in the mainstream of the Haihe River is relatively stable overall, and the large local subsidence is often related to the surrounding construction sites.

Key words: InSAR; river bank; subsidence monitoring; Haihe

0 引言

作为世界上最早广泛采用的一种重要防洪工程, 河道堤防是抵御洪涝灾害的重要工程措施, 是防洪工程建设的基础。据有关资料报道, 我国现有各类堤防约 29.91 万 km, 其中主要的骨干堤防 6.57 万 km, 在历次洪涝灾害中发挥着重要的作用。受地

壳运动、地下水开采加剧等影响, 地面沉降的严重性逐渐增加, 对堤防设施造成严重的、长期的影响, 主要体现在堤防设施的永久性标高损失、裂缝等, 降低防洪能力^[1]。因此有必要对河堤进行沉降观测来及时掌握其变化的情况, 为水务部门采取措施提供数据支撑。

收稿日期: 2019-03-13

作者简介: 冯东利(1981-), 男, 天津宝坻人, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事水务工程管理、工程观测等方面的工作。

常规大地测量方法、特殊大地测量方法、GPS 测量、摄影测量方法等工程沉降监测技术可应用于对重要河堤段的沉降监测^[2-4],但是如何实现大范围河堤沉降监测却存在经费高、耗时长等缺点,难以实现推广应用。而近些年迅速发展成熟的合成孔径雷达干涉测量(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)技术为河堤沉降监测提供可能,其大范围、高空间分辨率、高时间分辨率、高精度的监测优势可以服务河堤沉降普查^[5]。

因此本项目针对河堤沉降监测的要求,基于 Sentinel-1 数据对天津市环内海河河堤沿线地表沉降进行监测,通过时序 InSAR 分析获取海河河堤沉降成果,分析海河河堤沉降的空间分布规律与特点,为其控制治理提供基础依据。

1 实验区概况及 SAR 影像数据源

1.1 天津市环内海河干流河堤实验区概况

海河是中国华北地区的最大水系,中国七大河流之一,流域总面积 26.5 万 km²。其位于天津市的部分称为海河干流,起自天津市金钢桥,到大沽口入渤海湾。干流自金钢桥以下长 77.5 km,环内段总长 16.2 km,途径和平区、河东区、河西区、东丽区和津南区,地理范围(39°4'19"~39°9'33"N, 117°10'26"~117°18'39"E),具体位置如图 1 所示。



图1 海河干流环内河堤位置

1.2 SAR 影像数据源

为了获取环内海河干流河堤沿线区域的沉降,本文采用欧空局的 Sentinel-1 数据对其进行监测,模式选择干涉宽幅模式(interferometric wide swath, IW),波段为 C 波段,空间分辨率为 5 m×20 m,入射角为 33.7°,极化方式为 VV 极化,产品类型为单视复数(Single Look Complex, SLC)数据^[6]。

本文共收集 2017 年 1 月—2017 年 12 月的 29 景 Sentinel-1 数据进行处理,平均时间基线为 12 d,

时间列表信息如表 1 所示。

表1 实验 Sentinel-1 数据时间列表

序号	获取时间	实际基线/d	序号	获取时间	实际基线/d
1	2017-01-03	0	16	2017-07-26	204
2	2017-01-15	12	17	2017-08-07	216
3	2017-01-27	24	18	2017-08-19	228
4	2017-02-08	36	19	2017-08-31	240
5	2017-02-20	48	20	2017-09-12	252
6	2017-03-04	60	21	2017-09-24	264
7	2017-03-16	72	22	2017-10-06	276
8	2017-03-28	84	23	2017-10-18	288
9	2017-04-09	96	24	2017-10-30	300
10	2017-04-21	108	25	2017-11-11	312
11	2017-05-03	120	26	2017-11-23	324
12	2017-05-15	132	27	2017-12-05	336
13	2017-05-27	144	28	2017-12-17	348
14	2017-06-08	156	29	2017-12-29	360
15	2017-07-14	192			

2 时序 InSAR 数据处理

本实验区数据量较大,满足永久散射体 PSInSAR 和 SBAS-InSAR 技术条件,因此基于 GAMMA 软件采取 2 种方法相结合的策略来开展海河干流河堤的时序 InSAR 数据处理与分析工作,数据处理流程如图 2 所示^[7]。

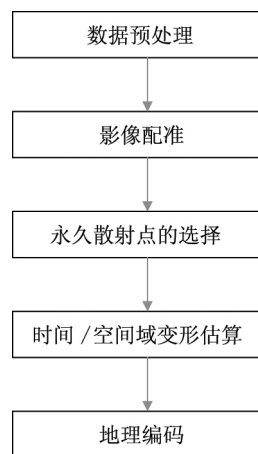


图2 时序 SAR 数据处理流程图

在上述常规处理流程上,本文重点针对 Sentinel-1 数据的特点和河堤监测的需求开展影像配准、永久散射点的选择、时域/空间域变形估算研究。

Sentinel-1 数据特有的 TOPS 成像模式可以实现大范围、快速的地面沉降信息获取^[8]。但是由于 TOPS 模式在方位角上容易产生高多普勒频率,需要精确至方位角为 1‰,以避免分块之间的相位斜坡和相位不连续。本文首先采用分块重叠部分的频谱

差异信息来估计获取方位向偏移关系;然后利用分块重叠部分的幅度信息进行相关性分析来获取距离向转换关系。

为了从干涉图集中选择更稳定的像素,本文采用连续时间相关点提取方法与间歇性时间相关点提取方法相结合的永久散射点的选择策略,从而增加点的密度与分布。首先基于时间上连续的 SAR 数据集进行连续时间相关点目标提取,采取的原则是幅度离差法;然后基于所有时序干涉图集进行间歇性时间相关点提取,采取的原则是相干性时序分析法。

时间/空间域变形估算主要依据空间基线、时间基线关系,建立 PS 点目标的二维周期图,以此为目标函数使模型相关系数最大化,估算相邻点间的线性形变速率和高程差值。针对海河沿线建筑物密集的情况,本文针对性地将高程和形变估计分为 2 个步骤,采用了长短基线迭代组合的解算方法。

3 监测成果及分析

采用时序 InSAR 数据处理方法对海河干流河堤沿线的 Sentinel-1 数据进行处理后,得到实验区的沉降监测成果。但是由于本项目重点关注河堤的沉降,因此基于海河河堤的空间位置提取出河堤沉降结果后,从点密度和沉降空间分布 2 个方面来开展河堤监测成果的分析。

3.1 监测点密度及分布分析

海河干流的河堤监测点分布如图 3 所示。环内海河段河堤共获得 2 051 个监测点,点密度达到 280 点/ km^2 。从图 3 中可以看出,监测点的密度分布不均匀,因为它主要取决于地面覆盖。如图 3 中矩形所示区域,存在较大规模的施工,当卫星采集时间段内由于地面变化较快而难以获得相干性较高的监测点。



图3 海河河堤 InSAR 监测点分布图

3.2 监测沉降信息分析

海河干流的河堤 InSAR 监测的沉降速率空间分布如图 4 所示。环内河堤的沉降速率均位于 $[0, -40]$ mm/a; 平均沉降速率为 -13 mm/a; 最大沉降速率为 -22.7 mm/a, 位于金阜桥附近的海河干流左堤处; 最小沉降速率为 -4 mm/a, 位于金汤桥和进步桥的海河干流右堤处。

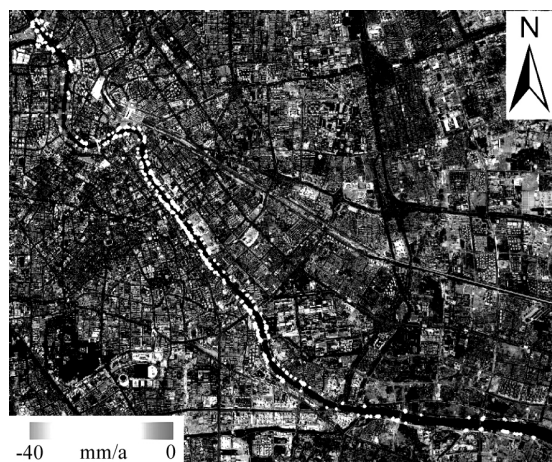


图4 海河河堤 InSAR 监测沉降速率空间分布图

对海河干流左堤和右堤分别进行分析。右堤共有 1 155 个监测点,平均沉降速率为 -11.8 mm/a; 左堤共有 896 个监测点,平均沉降速率为 -13.9 mm/a; 从整体上分析天津市环内段的海河干流左堤沉降速率稍大于右堤。右堤最大沉降速率为 -20.2 mm/a, 位于月季园附近; 左堤最大沉降速率为 -22.7 mm/a, 位于金埠桥附近; 结合最大沉降处的遥感影像进行分析,如图 5 和图 6 所示。该 2 处地方存在一定范围的在建工地,可能是这些工地的施工引发局部区域地下水位的降低,从而引发沉降漏斗的出现。



图5 右堤最大沉降位置遥感影像



图6 左堤最大沉降位置遥感影像

综上所述,海河干流环内段的河堤沉降变形整体较为稳定,右堤的整体沉降速率小于左堤。但是在局部区域,由于一定范围工地存在,引起河堤的局部沉降漏斗,后续需要重点予以针对性监测。

4 结论

针对河堤沉降监测的应用需求,本文以天津市环内海河干流河堤为例,利用 Sentinel-1 数据进行监测,采用 GAMMA 软件实现时序 InSAR 数据处理得

到河堤沿线沉降监测成果。通过分析可知,海河干流环内河堤沉降整体相对稳定,局部沉降较大处往往与周边的工地存在一定的关联性。通过本文的实验,有效验证了可以采用遥感技术实现河堤的沉降观测,尤其是 InSAR 技术。相对于传统的沉降监测技术,该方法能够提供高密度、大范围的监测成果,辅助河堤安全性分析。

参考文献

- [1]李继业,刘福胜.河道堤防工程监测实用技术[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [2]李瑞.桐子壕水电站大坝变形观测研究与实践[D].成都:西南石油大学,2016.
- [3]杜强.小湾大坝变形监测与分析研究[D].西安:长安大学,2015.
- [4]王举.基于激光扫描技术的水库大坝三维变形动态监测方法研究[D].郑州:郑州大学,2015.
- [5]杨潇潇.时序 InSAR 技术用于大坝形变监测与变形模式研究[D].西安:长安大学,2017.
- [6]杨魁,杨建兵,江冰茹.Sentinel-1 卫星综述[J].城市勘测,2015(2):24-27.
- [7]YANG K, YAN L, HUANG G M, et al. Monitoring Building Deformation with InSAR: Experiments and Validation[J]. Sensors, 2016(12):2182-2198.
- [8]张艳梅,王萍,罗想,等.利用 Sentinel-1 数据和 SBAS-InSAR 技术监测西安地表沉降[J].测绘科学,2017(4):93-97.

(责任编辑:张艳霞)

+++++

(上接第112页)

处。总之,只有建立完善的举报人保护制度,才能更好地发挥社会监督的力量,推进依法治国,共建和谐社会。

参考文献

- [1]陈卫东,张佳华.检察机关举报工作中的现实问题与对策研究[J].中国人民大学学报,2011(3):146-153.
- [2]WORTH MARK. Whistleblower Protection Rules in G20 Countries: The Next Action Plan[R]. Melbourne: Transparency International Australia, 2014.
- [3]约翰·梵瓦勒,印波,崔雯雅.反腐败与举报人保护立法[J].人民检察,2017(17):67-69.
- [4]苏仁兴.关于加强举报人保护的思考[J].华东政法学院学报,2003(2):108-110.
- [5]戴巍.美国举报人保护法律体系论要[J].政法学刊,

2017(3):86-96.

- [6]李员君.我国举报人保护现状及制度重构[J].河南公安高等专科学校学报,2006(6):54-56.
- [7]杨辉解.论我国举报人权益保护的制度安排[J].求索,2007(8):98-99.
- [8]王晓新,刘太宗,江涛,等.检察举报制度的宪法定位与立法完善[J].人民检察,2012(10):24-29.
- [9]吕翠流.关于完善举报人保护制度的思考[J].中共山西省直机关党校学报,2009(6):55-56.
- [10]万春,吴孟栓,李昊昕.《关于保护、奖励职务犯罪举报人的若干规定》解读[J].人民检察,2016(9):25-27.
- [11]黄蓝,刘再春.网络反腐举报人权益保护制度研究[J].领导科学,2015(20):57-59.

(责任编辑:吴静)