



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109709550 B

(45) 授权公告日 2020.10.30

(21) 申请号 201910043057.2

审查员 鹿倩

(22) 申请日 2019.01.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109709550 A

(43) 申请公布日 2019.05.03

(73) 专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

(72) 发明人 周伟 程翔 周志伟 潘斌

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 杨宏伟

(51) Int. Cl.

G01S 13/90 (2006.01)

G01B 7/16 (2006.01)

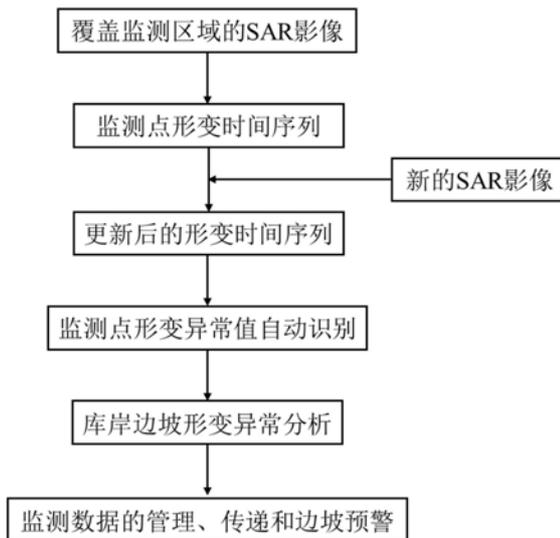
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法,涉该方法在采集流域库岸边坡的InSAR数据的基础上,首先利用SqueeSAR技术和差分干涉处理等手段提取监测区域的形变信息,并针对获取的形变时间序列进行异常值识别来界定监测范围内出现的不稳定区域;其次考虑库水位和降雨量两个因素,再结合相关地质条件,通过相关性分析方法,判断和解释边坡出现形变异常的原因;最后通过图、表等形式将监测数据及相关分析体现在监测报告中。与现有的技术相比,该方法可以实现流域库岸边坡大范围、高精度的连续、半自动监测,并能够更加合理地进行边坡形变异常的预警预报。



1. 一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、基于InSAR影像的库岸边坡形变数据获取和更新

首先选取覆盖监测区域的多幅SAR复影像干涉数据序列,通过SqueeSAR技术从影像中识别出永久散射体PS点和分布式散射体DS点作为边坡形变的监测点;然后联合利用监测点上的相位信号,从相位信号中依次分离出形变数据;最终得到所有监测点的形变数据,并以SAR影像采集时间的顺序绘制各监测点的形变时间序列过程线;

步骤2、监测点形变模式分析和异常值自动识别

以步骤1获得的所有监测点的形变时间序列作为输入,将整个时间序列的监测周期( $T_0-T_n$ )分为两个子区间,即历史时间序列期( $T_0-T_{n-k}$ )和监测时间序列期( $T_{n-k}-T_n$ ), $k$ 表示时间窗口, $n$ 表示时间序号,也即卫星影像序号,其中待检测的异常值包含在监测时间序列期内;对比( $T_0-T_{n-k}$ )区间内的形变模式,逐一点分析在( $T_{n-k}-T_n$ )监测周期内形变时间序列是否发生偏离,即位移时间序列是否表现出非线性;当位移时间序列表现出非线性时,计算断点前后的变形速率,并将两者差值的绝对值与设定阈值比较,若断点前后变形速率差值的绝对值大于设定阈值,将断点标记为异常值;

步骤3、库岸边坡异常形变驱动因素分析

考虑空间一致性和时间持续性两个重要因素,将依据步骤2中识别出的表现出非线性的位移时间序列,且在至少两次连续的更新中被标记为异常的一组监测点界定为边坡不稳定区域;考虑库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响,并结合当地的地质条件,判断和解释边坡出现异常形变的驱动因素;

步骤4、监测数据的管理、传递和边坡预警

绘制监测报告,考虑累计变形量和变形速率,以不同颜色分别表示监测区域边坡不存在异常、存在新的异常、持久性异常以及处于危险的范围,并将边坡形变与库水位以及降雨因素的相关分析以图表的形式体现出来;将有必要进一步分析的未知区域,以及在空间一致性和时间持久性方面存在形变异常的初步分析体现在监测报告中。

2. 如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤1中,利用SqueeSAR技术从时间序列SAR影像中识别PS点,具体采用幅度离差指数作为评价指数选取PS点;从时间序列SAR影像中识别DS点,具体为选取KS检验作为统计检验方法进行空间自适应滤波以识别关键要素点作为DS候选点。

3. 如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤1中,一旦采集到监测区域内新的SAR影像,同样的方法将立即获取所有监测点新的形变数据,并及时更新时间序列数据库。

4. 如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤1中,对监测点的形变监测数据进行过程线的绘制方法为:将测量时间作为横轴,将累计形变量作为竖轴,采用线状符号、点状符号对累计形变量与测量时间的关系进行绘制。

5. 如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤2中、判断形变时间序列是否表现出非线性的具体方法为:对形变时间序列进行线性拟合,若某监测点前后段时间序列线性拟合后直线斜率发生变化,则该监测点形变时间序列表现出非线性。

6. 如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤2中、时间窗口

和形变设定阈值的具体取值方法为:根据不同的工程,不同的监测要求,在测试不同的时间窗口和速度阈值之后,基于不同工程及监测的需求,选择最佳的时间与速率阈值组合。

7.如权利要求1所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:在步骤3中,库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响分析方法为:应用灰色关联度分析法,计算形变值与库水位以及降雨因子之间的关联度,其中关联度取值范围为-1~1,根据关联值判断库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响。

8.如权利要求1至7任意一项所述的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于:所述监测点的形变数据包括轨道误差、DEM误差和大气扰动。

## 一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于边坡稳定性监测与预警技术领域,特别涉及一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法。

### 背景技术

[0002] 随着众多水利水电工程建成蓄水和运行,流域库岸边坡监测受到越来越广泛的关注。在各项监测中,形变量是反映当前库岸坡体稳定性及运动状态最直接的物理量。对库岸坡体进行形变监测,可以客观真实地纪录库岸坡体变形的发展演变过程,对了解掌握库岸坡体的现状和预测形变发展趋势具有重要意义。

[0003] 传统的库岸边坡形变监测方法主要是通过精密水准测量进行地表形变监测和安装钻孔测斜仪进行内部形变监测,但其中精密水准测量耗费人力物力大,数据采集受环境气候及地形条件影响大,而测斜仪存在成本高,维修难等不足。与此同时,考虑到库岸边坡存在交通不便、难以攀爬等情况,运用新型测量手段进行数据采集正成为边坡形变监测的发展方向。

[0004] 近年来合成孔径雷达技术(SAR技术)的发展为水利水电库岸边坡形变监测提供了新的技术支持,其中InSAR技术由于具备监测精度高,时间空间分辨率高等优点而具有良好的应用前景。目前,已有部分工程将InSAR技术运用于边坡形变信息的获取并主要以平均形变速率图等静态图片形式传递监测信息,这些做法在探测边坡不稳定性方面取得了不少进步,但在边坡预警和风险管理方面还存在许多不足。由此可见,发明一种能够对大范围边坡形变进行连续监测并自动预警的方法显得尤为重要。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服背景技术的不足之处,而提供一种基于InSAR数据的连续、半自动库岸边坡形变监测处理方法。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的技术方案为:

[0007] 一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法,其特征在于,主要包括以下步骤:

[0008] 步骤1、基于InSAR影像的库岸边坡形变数据获取和更新

[0009] 首先选取覆盖监测区域的多幅SAR复影像干涉数据序列,通过SqueeSAR技术从影像中识别出永久散射体PS点和分布式散射体DS点作为边坡形变的监测点;然后联合利用监测点上的相位信号,从相位信号中依次分离出形变数据;最终得到所有监测点的形变数据,并以SAR影像采集时间的顺序绘制各监测点的形变时间序列过程线;

[0010] 步骤2、监测点形变模式分析和异常值自动识别

[0011] 以步骤1获得的所有监测点的形变时间序列作为输入,将整个时间序列的监测周期( $T_0-T_n$ )分为两个子区间,即历史时间序列期( $T_0-T_{n-k}$ )和监测时间序列期( $T_{n-k}-T_n$ ), $k$ 表示时间窗口, $n$ 表示时间序号,也即卫星影像序号,其中待检测的异常值包含在监测时间序列

期内;对比( $T_0-T_{n-k}$ )区间内的形变模式,逐一点分析在( $T_{n-k}-T_n$ )监测周期内形变时间序列是否发生偏离,即位移时间序列是否表现出非线性;当位移时间序列表现出非线性时,计算断点前后的变形速率,并将两者差值的绝对值与设定阈值比较,若断点前后变形速率差值的绝对值大于设定阈值,将断点标记为异常值;

[0012] 步骤3、库岸边坡异常形变驱动因素分析

[0013] 考虑空间一致性和时间持续性两个重要因素,将依据步骤2中识别出的表现出相似的非线性位移时间序列,且在至少两次连续的更新中被标记为异常的一组监测点界定为边坡不稳定区域;考虑库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响,并结合当地的地质条件,判断和解释边坡出现异常形变的驱动因素;

[0014] 步骤4、监测数据的管理、传递和边坡预警

[0015] 绘制监测报告,考虑累计变形量和变形速率等,以不同颜色分别表示监测区域边坡不存在异常、存在新的异常、持久性异常以及处于危险的范围,并将边坡形变与库水位以及降雨因素的相关分析以图表的形式体现出来;将有必要进一步分析的未知区域,以及在空间一致性和时间持久性方面存在形变异常的初步分析体现在监测报告中。

[0016] 优选的,在步骤1中,利用SqueeSAR技术从时间序列SAR影像中识别PS点,具体采用幅度离差指数作为评价指标选取PS点;从时间序列SAR影像中识别DS点,具体为选取KS检验作为统计检验方法进行空间自适应滤波以识别关键要素点作为DS候选点。

[0017] 优选的,在步骤1中,一旦采集到监测区域内新的SAR影像,同样的方法将立即获取所有监测点新的形变数据,并及时更新时间序列数据库。

[0018] 优选的,在步骤1中,对监测点的形变监测数据进行过程线的绘制方法为:将测量时间作为横轴,将累计形变量作为竖轴,采用线状符号、点状符号对累计形变量与测量时间的关系进行绘制。

[0019] 优选的,在步骤2中、判断形变时间序列是否表现出非线性的具体方法为:对形变时间序列进行线性拟合,若某监测点前后段时间序列线性拟合后直线斜率发生变化,则该监测点形变时间序列表现出非线性。

[0020] 优选的,在步骤2中、时间窗口和形变设定阈值的具体取值方法为:根据不同的工程,不同的监测要求,在测试不同的时间窗口和速度阈值之后,基于不同工程及监测的需求(如:1个月累计形变超过5厘米,即5厘米/月),选择最佳的时间与速率阈值组合。

[0021] 优选的,在步骤3中,库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响分析方法为:应用灰色关联度分析法,计算形变值与库水位以及降雨因子之间的关联度,其中关联度取值范围为-1~1,根据关联值判断库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响。

[0022] 优选的,所述监测点的形变数据包括轨道误差、DEM误差和大气扰动。

[0023] 本发明与现有技术相比,其有益效果如下:

[0024] 1、本发明采用的InSAR技术具有很高的空间分辨率和测量精度,监测精度能够达到毫米级,可以实现对监测区域的高分辨率成像。此外,由于采用非接触式测量方式且雷达影像覆盖范围很大,有效克服了传统流域库岸边坡形变监测中布置传感器困难、获取监测信息少等不足。

[0025] 2、目前星载合成孔径雷达进行一次数据采集时间很短,因此基于InSAR数据进行流域库岸边坡监测周期相较于其他监测手段而言较短,可以实现对区域的连续监测。同时,

数据采集的规律性保证了在获取每一个新的SAR图像之后能够立即更新可用于系统输入滑坡失效预测模型的位移时间序列,以识别在滑坡前运动的逐渐加速,并逐步细化失效时间的预测。

[0026] 3、SAR影像数据可以免费获取,这大幅降低前期数据采集的经费和监测后期维护费用,因此有着巨大的经济和社会效益。

[0027] 4、本发明采用的时间序列分析方法具有仅基于变形速率的常规分析的显著优点,并且由于现在可用的计算能力增加,它可以在几百万个时间序列上以秒为单位执行。

[0028] 5、本发明可以让管理者能够快速准确地掌握整个库区边坡的形变信息,实现快速决策,从而达到遏制灾害、减轻灾害损失、稳定社会秩序的目的。

## 附图说明

[0029] 图1为本发明库岸边坡形变监测处理方法整体流程图。

[0030] 图2为本发明形变数据获取和更新功能结构框图。

[0031] 图3为本发明监测点形变异常值自动识别功能结构框图。

[0032] 图4为本发明库岸边坡形变异常分析功能结构框图。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明进行举例说明。

[0034] 如图1所示,一种基于InSAR影像数据的库岸边坡形变监测处理方法,主要包括以下步骤:

[0035] 步骤一、基于InSAR影像的库岸边坡形变数据获取和更新

[0036] 首先选取覆盖监测区域的多幅SAR复影像干涉数据序列,通过SqueeSAR技术从影像中识别出永久散射体(PS点)和分布式散射体(DS点)作为边坡形变的监测点;然后联合利用PS点和DS点上的相位信号,从相位信号中依次分离出轨道误差、DEM误差、大气扰动等;最终得到所有监测点的形变数据,并以SAR影像采集时间的顺序绘制各监测点的形变时间序列过程线。

[0037] 为了能够实现边坡的连续监测,一旦采集到监测区域内新的SAR影像,同样的方法将立即获取所有监测点新的形变数据,并及时更新时间序列数据库。

[0038] 步骤二、监测点形变模式分析和异常值自动识别

[0039] 以步骤一获得的所有监测点的形变时间序列作为输入,将整个时间序列的监测周期( $T_0-T_n$ )分为两个子区间:历史时间序列期( $T_0-T_{n-k}$ )和监测时间序列期( $T_{n-k}-T_n$ )( $k$ 表示时间窗口 $n$ 表示时间序号,也即卫星影像序号),其中待检测的异常值包含在监测时间序列期内;对比( $T_0-T_{n-k}$ )区间内的形变模式,逐一点分析在( $T_{n-k}-T_n$ )监测周期内形变时间序列是否发生偏离,即位移时间序列是否表现出非线性;当位移时间序列表现出非线性时,计算断点前后的变形速率,并将两者差值的绝对值与设定阈值比较,若断点前后变形速率差值的绝对值大于设定阈值,将断点标记为异常值。

[0040] 步骤三、库岸边坡异常形变驱动因素分析

[0041] 考虑空间一致性和时间持续性两个重要因素,将依据步骤二中识别出的表现出表现出相似的非线性位移时间序列且在至少两次连续的更新中被标记为异常的一组监测点

界定边坡不稳定区域;考虑库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响,并结合当地的地质条件,判断和解释边坡出现异常形变的驱动因素。

[0042] 步骤四、监测数据的管理、传递和边坡预警

[0043] 绘制监测报告,考虑累计变形量和变形速率等,以绿色、黄色、橙色和红色分别表示监测区域边坡不存在异常、存在新的异常、持久性异常以及处于危险的范围,并将边坡形变与库水位以及降雨等因素的相关分析以图表的形式体现出来;将有必要进一步分析的未知区域,以及在空间一致性和时间持久性方面存在形变异常的初步分析体现在监测报告中。

[0044] 优选的,步骤一中利用SqueeSAR技术从时间序列SAR影像中识别PS点,具体采用幅度离差指数作为评价指数选取PS点;从时间序列SAR影像中识别DS点,具体为选取KS检验作为统计检验方法进行空间自适应滤波以识别关键要素点作为DS候选点。

[0045] 优选的,步骤一中对监测点的形变监测数据进行过程线的绘制方法为:将测量时间作为横轴,将累计形变量作为竖轴,采用线状符号、点状符号对累计形变量与测量时间的关系进行绘制。

[0046] 优选的,步骤二中判断形变时间序列是否表现出非线性的具体方法为:对形变时间序列进行线性拟合,若某监测点前后段时间序列线性拟合后直线斜率发生变化,则该监测点形变时间序列表现出非线性。

[0047] 优选的,步骤二中时间窗口和形变设定阈值的具体取值方法为:根据不同的工程,不同的监测要求,在测试不同的时间窗口和速度阈值之后,基于不同工程及监测的需求(如:1个月累计形变超过5厘米,即5厘米/月),选择最佳的时间与速率阈值组合。

[0048] 优选的,步骤三中库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响分析方法为:应用灰色关联度分析法,计算形变值与库水位以及降雨因子之间的关联度,其中关联度取值范围为-1~1,根据关联值判断库水位和降雨因子对库岸边坡异常形变的影响。

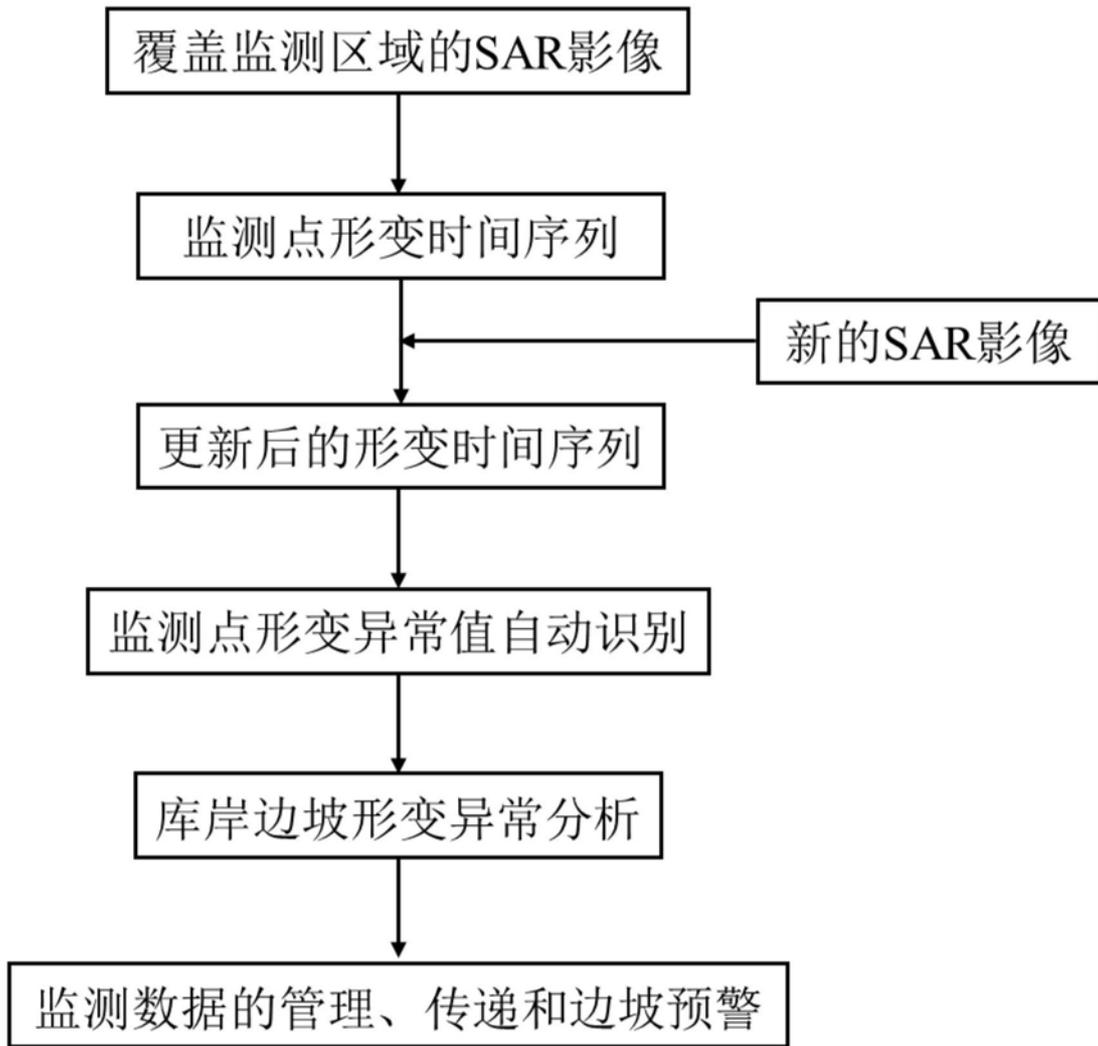


图1

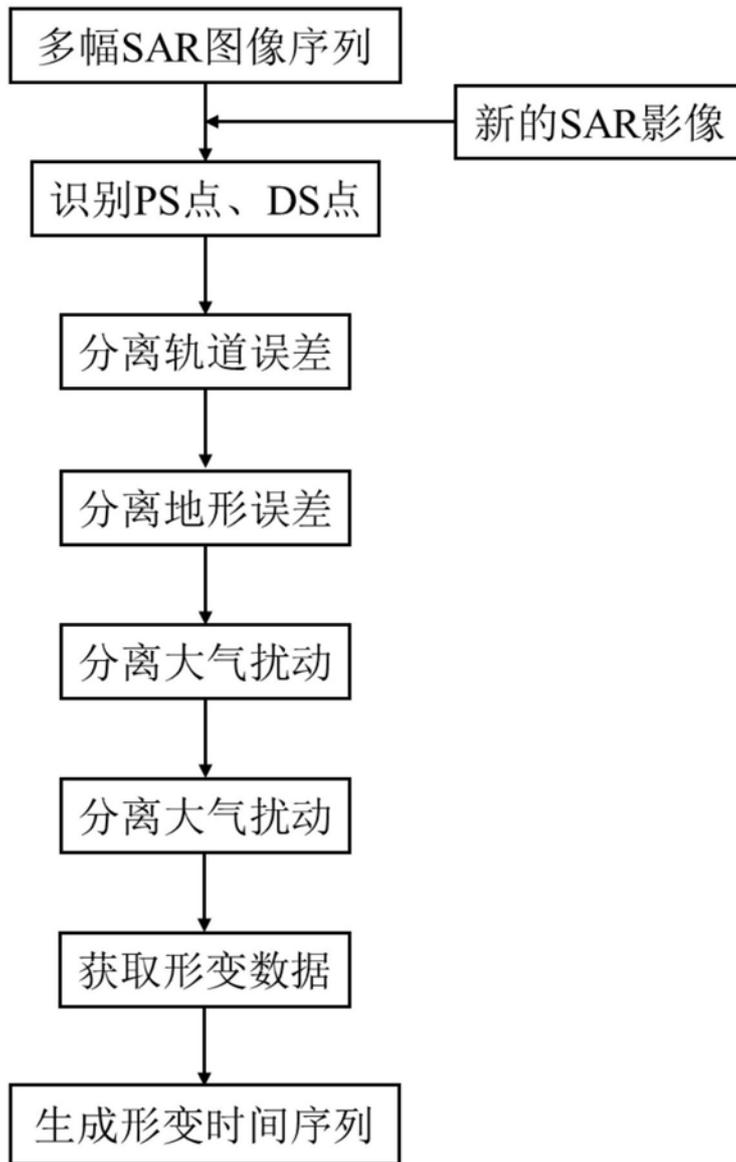


图2

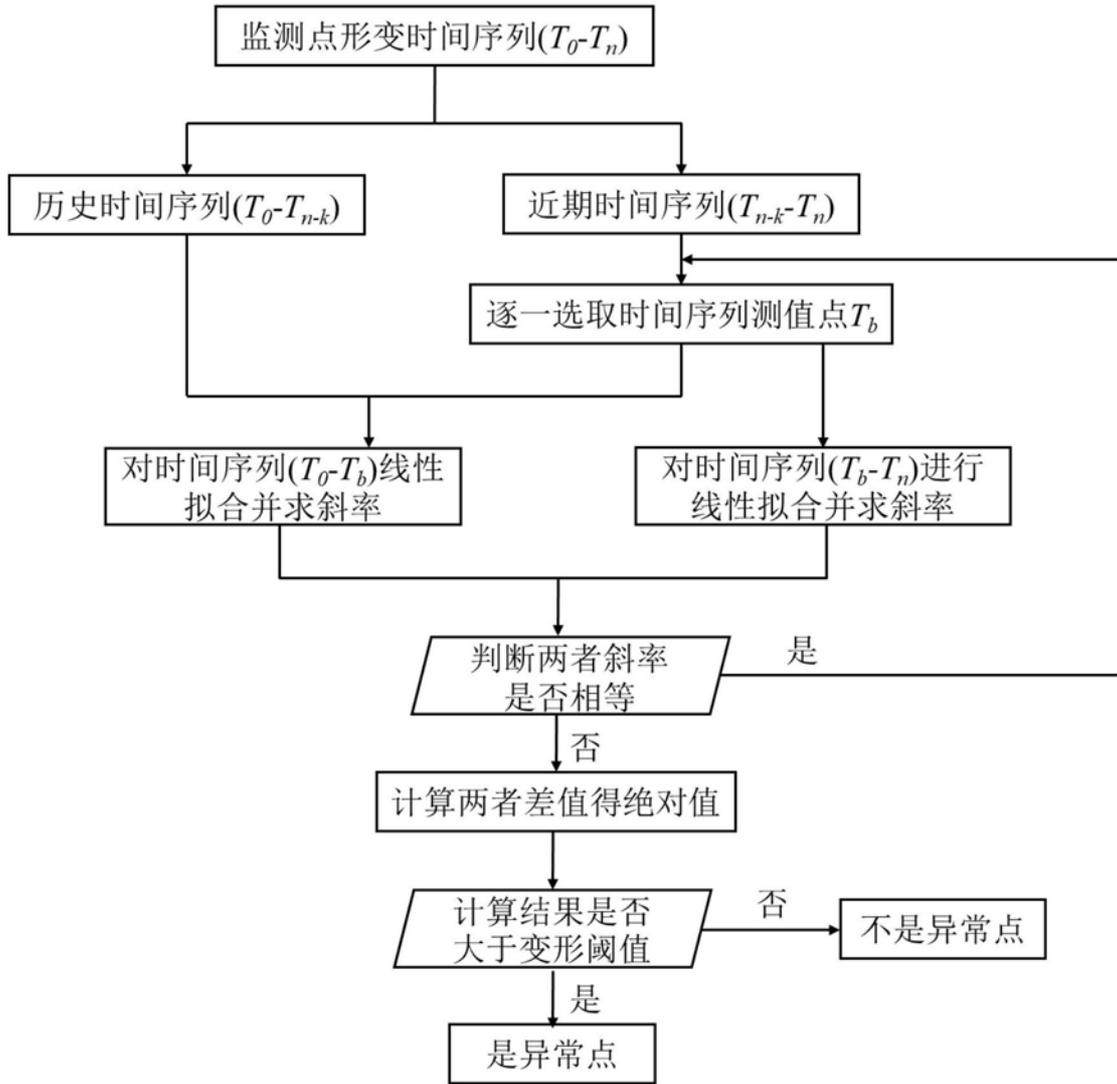


图3

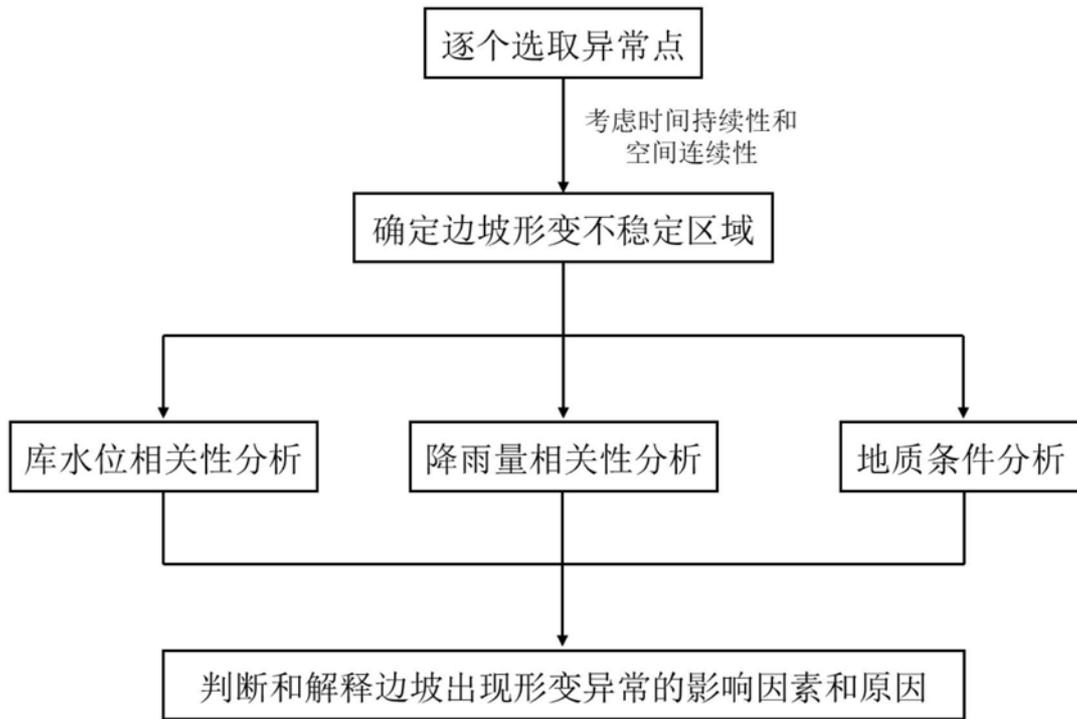


图4