



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111854596 A

(43) 申请公布日 2020. 10. 30

(21) 申请号 202010868109.2

(22) 申请日 2020.08.26

(71) 申请人 中国地质大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路29号

(72) 发明人 杨红磊 杜柏林 刘杰

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 杨媛媛

(51) Int. Cl.

G01B 7/16 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统。该方法包括：求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图；根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量；根据各相邻时刻各像元的形变量，求取各像元相对于初始时刻的累积形变量；根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率；根据各像元的形变速率，求取当前时刻各像元的形变加速度；根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度，结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值，确定是否发出预警。本发明提供的地表形变实时监测方法及系统能够实现地表形变的精确监测和预警。



1. 一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,包括:
求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;
根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;
根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;
根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;
根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;
根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。

2. 根据权利要求1所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,所述求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图,具体包括:

获取目标监测区域相邻两时刻的雷达单视复图像;

对相邻两时刻的雷达单视复图像进行差分干涉处理,得到相邻两时刻的差分干涉图。

3. 根据权利要求1所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,所述根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量,具体包括:

对所述差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,并根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。

4. 根据权利要求1所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量,具体包括:

通过对像元在各相邻时刻的形变量的累加,求取各像元的累积形变量。

5. 根据权利要求1所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,所述根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率,具体包括:

在设定时间段内,对像元的累积形变量进行最小二乘线性拟合,根据拟合直线的斜率确定所述设定时间段所述像元的形变速率。

6. 根据权利要求1所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,所述根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率,具体包括:

根据像元各时刻的累积形变量,建立像元的累积形变量随时间变化的曲线,记为累积形变-时间曲线;

对所述累积形变-时间曲线求导,得到像元的形变速率-时间曲线;

基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率。

7. 根据权利要求6所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,其特征在于,所述根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度,具体包括:

对像元的形变速率-时间曲线进行求导,得到像元的形变加速度-时间曲线;

基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。

8. 一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统,其特征在于,包括:
差分干涉图求取模块,用于求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;

形变量求取模块,用于根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;

累积形变量求取模块,用于根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;

形变速率求取模块,用于根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;

形变加速度求取模块,用于根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;

预警模块,用于根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。

9. 根据权利要求8所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统,其特征在于,

所述差分干涉图求取模块,具体包括:

雷达图像获取单元,用于获取目标监测区域相邻两时刻的雷达单视复图像;

差分干涉处理单元,用于对相邻两时刻的雷达单视复图像进行差分干涉处理,得到相邻两时刻的差分干涉图;

所述形变量求取模块,具体包括:

形变量求取单元,用于对所述差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,并根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。

10. 根据权利要求8所述的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统,其特征在于,

所述累积形变量求取模块,具体包括:

累积形变量求取单元,用于通过对像元在各相邻时刻的形变量的累加,求取各像元的累积形变量;

所述形变速率求取模块,具体包括:

第一形变速率求取单元,用于在设定时间段内,对像元的累积形变量进行最小二乘线性拟合,根据拟合直线的斜率确定所述设定时间段所述像元的形变速率;

第二形变速率求取单元,用于根据像元各时刻的累积形变量,建立像元的累积形变量随时间变化的累积形变-时间曲线,并对所述累积形变-时间曲线求导,得到像元的形变速率-时间曲线,基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率;

所述形变加速度求取模块,具体包括:

形变加速度求取单元,用于对像元的形变速率-时间曲线进行求导,得到像元的形变加速度-时间曲线,基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。

基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及地表变形监测领域,特别是涉及一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统。

背景技术

[0002] 地基合成孔径雷达干涉测量(GB-InSAR)是一种基于微波探测主动成像方式的变形监测技术,通过雷达干涉测量技术可实现优于毫米级的微形变监测,无需接触目标区域即可精确获取地表形变信息,具有高时空分辨率、高灵活性和高精度等技术优势。近年来,滑坡、冰川运动、矿区沉降常有发生,提供一种能够对地表变形进行精确监测和预警的方法显得尤为重要。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统,能够实现地表形变的精确监测和预警。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0005] 一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,包括:

[0006] 求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;

[0007] 根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;

[0008] 根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;

[0009] 根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;

[0010] 根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;

[0011] 根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。

[0012] 可选的,所述求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图,具体包括:

[0013] 获取目标监测区域相邻两时刻的雷达单视复图像;

[0014] 对相邻两时刻的雷达单视复图像进行差分干涉处理,得到相邻两时刻的差分干涉图。

[0015] 可选的,所述根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量,具体包括:

[0016] 对所述差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,并根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。

[0017] 可选的,根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量,具体包括:

[0018] 通过对像元在各相邻时刻的形变量的累加,求取各像元的累积形变量。

[0019] 可选的,所述根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率,具体包括:

- [0020] 在设定时间段内,对像元的累积形变量进行最小二乘线性拟合,根据拟合直线的斜率确定所述设定时间段所述像元的形变速率。
- [0021] 可选的,所述根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率,具体包括:
- [0022] 根据像元各时刻的累积形变量,建立像元的累积形变量随时间变化的曲线,记为累积形变-时间曲线;
- [0023] 对所述累积形变-时间曲线求导,得到像元的形变速率-时间曲线;
- [0024] 基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率。
- [0025] 可选的,所述根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度,具体包括:
- [0026] 对像元的形变速率-时间曲线进行求导,得到像元的形变加速度-时间曲线;
- [0027] 基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。
- [0028] 本发明还提供了一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统,包括:
- [0029] 差分干涉图求取模块,用于求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;
- [0030] 形变量求取模块,用于根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;
- [0031] 累积形变量求取模块,用于根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;
- [0032] 形变速率求取模块,用于根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;
- [0033] 形变加速度求取模块,用于根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;
- [0034] 预警模块,用于根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。
- [0035] 可选的,
- [0036] 所述差分干涉图求取模块,具体包括:
- [0037] 雷达图像获取单元,用于获取目标监测区域相邻两时刻的雷达单视复图像;
- [0038] 差分干涉处理单元,用于对相邻两时刻的雷达单视复图像进行差分干涉处理,得到相邻两时刻的差分干涉图;
- [0039] 所述形变量求取模块,具体包括:
- [0040] 形变量求取单元,用于对所述差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,并根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。
- [0041] 可选的,
- [0042] 所述累积形变量求取模块,具体包括:
- [0043] 累积形变量求取单元,用于通过对像元在各相邻时刻的形变量的累加,求取各像元的累积形变量;
- [0044] 所述形变速率求取模块,具体包括:
- [0045] 第一形变速率求取单元,用于在设定时间段内,对像元的累积形变量进行最小二乘线性拟合,根据拟合直线的斜率确定所述设定时间段所述像元的形变速率;
- [0046] 第二形变速率求取单元,用于根据像元各时刻的累积形变量,建立像元的累积形

变量随时间变化的累积形变-时间曲线,并对所述累积形变-时间曲线求导,得到像元的形变速率-时间曲线,基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率;

[0047] 所述形变加速度求取模块,具体包括:

[0048] 形变加速度求取单元,用于对像元的形变速率-时间曲线进行求导,得到像元的形变加速度-时间曲线,基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。

[0049] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:本发明提供的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法及系统,对获取的雷达观测数据进行实时处理,通过求解干涉图形变和使用时序分析处理方法获取目标监测区域各像元的累积形变量、形变速率和形变加速度,并综合累积形变量阈值、形变速率阈值和形变加速度阈值三个阈值参数进行地表形变预警,提高了地表形变的监测精度和预警精度。

附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0051] 图1为本发明实施例1提供的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法流程图;

[0052] 图2为本发明实施例2提供的基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统结构图;

[0053] 图3为本发明中地基干涉雷达数据处理的流程图;

[0054] 图4为本发明中的累积形变图;

[0055] 图5为本发明中的平均形变速率图;

[0056] 图6为本发明中的三条曲线的折线图,图6(a)为累积形变-时间曲线图,图6(b)为形变速率-时间曲线图,图6(c)为形变加速度-时间曲线图;

[0057] 图7为本发明的数据处理精度图。

具体实施方式

[0058] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0059] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0060] 实施例1

[0061] 参见图1,本实施例提供了一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测方法,该方法包括:

[0062] 步骤101:求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;

[0063] 步骤102:根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;

[0064] 步骤103:根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;

[0065] 步骤104:根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;

[0066] 步骤105:根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;

[0067] 步骤106:根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。

[0068] 上述步骤所述的所有图像以数值矩阵形式存储,每个像元点位置上存储一个实数值或复数值,全部像元点都有数值即可成图,与存储多种颜色的索引的彩色图像有区别。

[0069] 步骤101中,相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像进行差分干涉图处理,具体可以为:对时序上相邻两景SLC数据(雷达单视复数数据)所有的对应像元的复数值进行共轭相乘来获得干涉相位。假设 y_1 、 y_2 分别为两幅影像某一像元点的复数值, y_2^* 为 y_2 的共轭复数,则有 $y_1 = a_1 + b_1i$ 、 $y_2^* = a_2 - b_2i$,共轭相乘公式如下式所示:

$$[0070] \quad y_1 y_2^* = (a_1 + b_1i)(a_2 - b_2i) = a_0 + b_0i。$$

[0071] 步骤102中,首先对差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,之后,再根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。滤波用于削弱噪声对干涉相位的影响。由于干涉所得的相位不带有整周期数信息,即处于相位缠绕状态,因此需要相位解缠以恢复为绝对干涉相位。而且两景SLC数据采集时的大气状态不同,导致干涉图受到大气相位的影响,故基于解缠相位,选择高质量点(时间序列上保持高相位质量的点,通常可为高相干点),建立距离与相位的函数模型 $y = a * r$,以求解大气相位,该公式中, y 为解缠后的相位, a 为未知系数, r 为雷达到高质量目标点的斜距,通过最小二乘法可以解出未知系数 a ,进而根据剩余每个点的雷达斜距可求出大气相位。在解缠后的图像上将每个像元点的解缠后的相位减去该像元点对应的大气相位以完成大气校正,即可得到干涉图的形变量,所有像元的干涉图形变量即为一张形变图像。

[0072] 步骤103中,计算累积形变量的方法具体可以为:选取多张具时序连续的干涉图,将不同干涉图中同一位置像元点的形变量依次相加可获得该像元点的累积形变量,对所有像元点计算累积形变量,即可获得第一张与最后一张干涉图对应时刻之间的累积形变图像。在此发明方法的循环过程中,每当获得新的SLC数据时,通过步骤101可得到最新时刻的干涉图的形变图,而上一次迭代的步骤103中已计算出前一时刻的总累积形变图(前一时刻与初始时刻之间的累积形变图),若无上一次迭代过程则使用所有像元数值均为0的累积形变图,将该累积形变图与最新时刻的形变图像元的数值对应相加即可得到最新时刻的总累积形变图。

[0073] 作为一种实施方式,步骤104中,计算形变速率的具体方法可以为:在假设最近一定时间段内目标监测区域的累积形变量呈线性变化的前提下,通过对该时段所含有的累积形变图进行最小二乘线性拟合来获取该时段的平均形变速率图。数据之间如果时空失相干会使得结果的精度降低,为避免时段过长导致的时空失相干问题,应当控制时段的长度,也即控制该处理过程中的累积形变图数量。

[0074] 最小二乘线性拟合的公式如式所示,式为式中未知量 x 的求解公式:

$$[0075] \quad Ax = b$$

$$[0076] \quad \text{其中, } \begin{bmatrix} t_1 & 1 \\ t_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ t_n & 1 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{21} & \cdots & d_{m1} \\ d_{12} & d_{22} & \cdots & d_{m2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{1n} & d_{2n} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} \overline{v}_1 & \overline{v}_2 & \cdots & \overline{v}_m \\ c_1 & c_2 & \cdots & c_m \end{bmatrix} \circ A \text{ 是时间系数矩}$$

阵, b 为由步骤二累积形变图所得的形变值矩阵, x 是待求量矩阵。 n 表示第 n 景 SLC 数据, m 表示一景 SLC 数据中的第 m 个数据点。 t_n 为第 n 景数据与第 1 景数据的时间间隔, d_{mn} 是第 n 景数据与第 1 景数据的累积形变图之间的第 m 个点的差值, \overline{v}_m 是拟合出的第 m 个数据点的平均形变速率 (一阶项), c_m 是拟合出的第 m 个数据点的线性方程的常数项。待求量矩阵 x 可通过公式的变形公式得到:

$$[0077] \quad x = (A^T A)^{-1} A^T b$$

[0078] 求得 x 即得到图中所有点的形变速率, 即得到形变速率图。

[0079] 作为又一种实施方式, 步骤 104 中, 像元形变速的求取方法还可以为:

[0080] 根据像元各时刻的累积形变量, 建立像元的累积形变量随时间变化的曲线, 记为累积形变-时间曲线; 对所述累积形变-时间曲线求导, 得到像元的形变速率-时间曲线; 基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率。在此基础上, 像元的形变加速度的求取方法可以为: 对像元的形变速率-时间曲线进行求导, 得到像元的形变加速度-时间曲线; 基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。

[0081] 累积形变-时间曲线以累积形变量为纵轴, 以雷达图像获取时刻为横轴, 将累积形变图按其对应的影像获取时间顺序排列, 选取某一相同像元点位按时间顺序提取其累积形变, 则每一张累积形变图可获得一个曲线点的坐标, 该图像的雷达影像获取时刻为曲线点的横坐标, 该图像上提取到的累积形变量为纵坐标, 将多个曲线点按照时间顺序连接成线即可得累积形变-时间曲线。若根据图上某一像元点位构成的曲线不够准确, 可以对在图上某一相同区域的点的数值采用取平均值或取中值等方式将多个数值化为一个数值, 并按时间顺序提取处理后的累积形变值形成曲线上不同的点, 再将曲线点连接成线获得累积形变-时间曲线。与通过累积形变图获得累积形变-时间曲线的方式相同, 通过形变速率图可获得形变速率-时间曲线。形变加速度-时间曲线在形变速率-时间曲线的基础上得到, 计算公式如式所示, 其中, t_n 表示第 n 景累积形变图对应的雷达影像获取时刻, \overline{v}_n 表示该时刻在步骤三中获得的最接近一段时间的平均形变速率, a_n 表示该时刻计算出的加速度。以某雷达影像获取时刻为横坐标, 以此时刻计算出的加速度为纵坐标, 可形成一个形变加速度-时间曲线上的点, 通过对其它时刻的加速度进行计算, 可得到更多的曲线点, 将曲线点按照时间顺序连接成线, 即为形变加速度-时间曲线。

$$[0082] \quad a_n = \frac{\overline{v}_n - \overline{v}_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

[0083] 另外, 上述曲线能够以图像的形式更直观地表现区域形变的趋势, 为调整步骤 106 中所需的预警阈值提供便利。

[0084] 作为一种实施方式, 步骤 106 中的预警方法可以具体为: 将三条曲线上的值分别与预先设置的预警阈值进行比较, 若其中一条曲线上最近时刻的曲线点对应的数值超出阈值

范围则进行预警发出警报信息,或者两条及两条以上曲线的值同时超出阈值范围才进行预警。若三条曲线的值都未超出阈值范围则继续观测。

[0085] 实施例2

[0086] 参见图2,本实施例提供了一种基于地基干涉雷达数据的地表形变实时监测系统,该系统包括:

[0087] 差分干涉图求取模块201,用于求取相邻两时刻目标监测区域雷达单视复图像的差分干涉图;

[0088] 形变量求取模块202,用于根据差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量;

[0089] 累积形变量求取模块203,用于根据各相邻时刻各像元的形变量,求取各像元相对于初始时刻的累积形变量;

[0090] 形变速率求取模块204,用于根据各像元的累积形变量求取各像元的形变速率;

[0091] 形变加速度求取模块205,用于根据各像元的形变速率,求取当前时刻各像元的形变加速度;

[0092] 预警模块206,用于根据当前时刻相对于初始时刻各像元的累积形变量、当前时刻各像元的形变速率以及当前时刻各像元的形变加速度,结合累积形变阈值、形变速率阈值以及形变加速度阈值,确定是否发出预警。

[0093] 其中,所述差分干涉图求取模块201,具体包括:

[0094] 雷达图像获取单元,用于获取目标监测区域相邻两时刻的雷达单视复图像;

[0095] 差分干涉处理单元,用于对相邻两时刻的雷达单视复图像进行差分干涉处理,得到相邻两时刻的差分干涉图;

[0096] 所述形变量求取模块202,具体包括:

[0097] 形变量求取单元,用于对所述差分干涉图进行滤波、相位解缠、大气校正处理,并根据处理后的差分干涉图确定相邻时刻各像元的形变量。

[0098] 所述累积形变量求取模块203,具体包括:

[0099] 累积形变量求取单元,用于通过对像元在各相邻时刻的形变量的累加,求取各像元的累积形变量;

[0100] 所述形变速率求取模块204,具体包括:

[0101] 第一形变速率求取单元,用于在设定时间段内,对像元的累积形变量进行最小二乘线性拟合,根据拟合直线的斜率确定所述设定时间段所述像元的形变速率;

[0102] 第二形变速率求取单元,用于根据像元各时刻的累积形变量,建立像元的累积形变量随时间变化的累积形变-时间曲线,并对所述累积形变-时间曲线求导,得到像元的形变速率-时间曲线,基于所述形变速率-时间曲线确定像元的形变速率;

[0103] 所述形变加速度求取模块205,具体包括:

[0104] 形变加速度求取单元,用于对像元的形变速率-时间曲线进行求导,得到像元的形变加速度-时间曲线,基于所述形变加速度-时间曲线确定像元的形变加速度。

[0105] 下面以实验的方式对本发明进行解释说明

[0106] 实验选取河北唐山马兰庄矿区采集的时间间隔为1个小时的GB-InSAR影像,采集设备为MIMO,波段为Ku波段。数据处理流程如图3所示。

[0107] 步骤一:将获取到的最新的SLC与前一时间获取的SLC进行差分干涉处理计算干涉

图形变。

[0108] 步骤二:对所有已生成的干涉图形变进行累加,得到一幅新的累积形变图。

[0109] 步骤三:取最新20景生成的干涉图形变,进行时序处理得到该时间段形变速率图。

[0110] 步骤四:根据所有的累积形变图和形变速率图生成三条统计曲线。

[0111] 步骤五:根据设置的阈值与曲线比较判断进行警报或者继续观测。

[0112] 软件运行具体时间受软件所在的计算机的配置影响,在配有Intel的i7-7700HQ版CPU计算机上对382张有规格为2096*246的SLC数据进行处理,单张数据处理消耗的时间全都在25秒以内,速度较快,在计算机性能足够时,该软件的实时处理能够满足快速出图的要求。

[0113] 计算所得累积形变图如图4所示,结合图例可明显看出,红色方框内蓝色区域形变值较大,为实际形变区域。前20景数据所得形变速率图如图5所示,可看出速率较大的区域与图4形变较大区域基本重合。在步骤四中取某景图像一小块区域的均值作为曲线上的某一点的数值,以图4中小方框区域作为处理的区域,所得的三条曲线如图6所示,可看出累积形变量随时间不断累积,并且形变速率和加速度在前35景数值较大,之后在0值附近波动。此三条曲线可反映该区域形变从不稳定到逐渐稳定的趋势。

[0114] 在理想情况下,区域稳定点在监测时段内计算得到的累积形变量应当为0。在分析结果精度时,由于第三方同步监测数据的缺失,故使用监测区域稳定点的累积形变曲线是否稳定,干涉值减去模型值后的残差的标准差是否较小,来判断处理结果精度的高低。模型值由两部分构成,基于距离函数生成的大气模型与对形变进行时间拟合的形变模型。由于地基SAR系统监测精度为mm级,可以认为实时处理中数据标准差小于1mm的点精度尚可。在稳定点区域四个角落选取 5×5 大小共100个点进行累积数据残差的标准差计算,标准差统计结果如图7所示。其中残差的标准差小于1mm的较高精度的点共计77个,占比即77%,可见,大部分的点位都可以满足亚毫米的监测精度,该结果满足对累积形变曲线走势和滑坡预警的判断的需求。

[0115] 本发明提供的地表形变实时监测方法及系统,对获取的雷达观测数据进行实时处理,通过求解干涉图形变和使用时序分析处理方法获取目标监测区域各像元的累积形变量、形变速率和形变加速度,并综合累积形变量阈值、形变速率阈值和形变加速度阈值三个阈值参数进行地表形变预警,提高了地表形变的监测精度和预警精度。

[0116] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0117] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

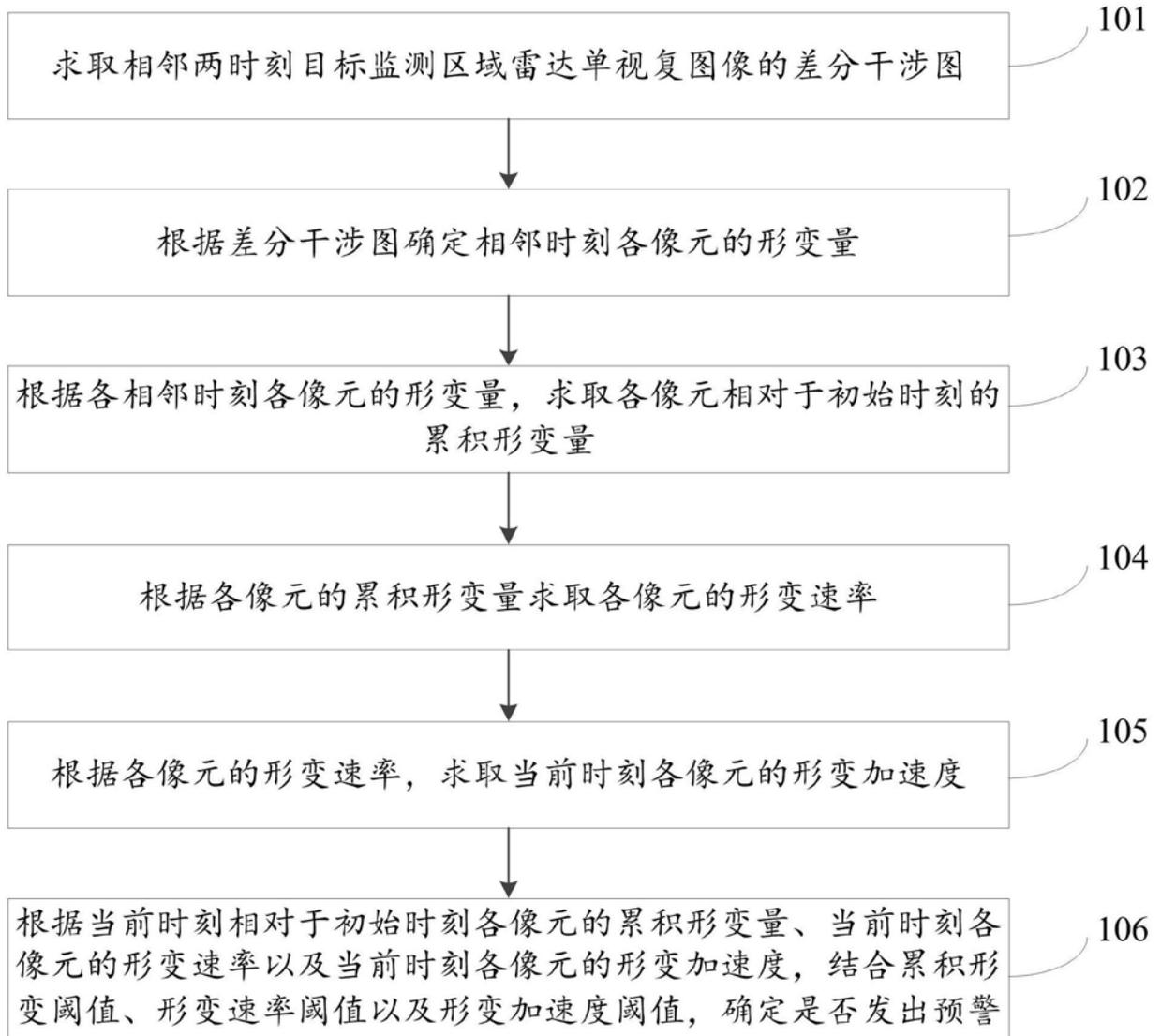


图1

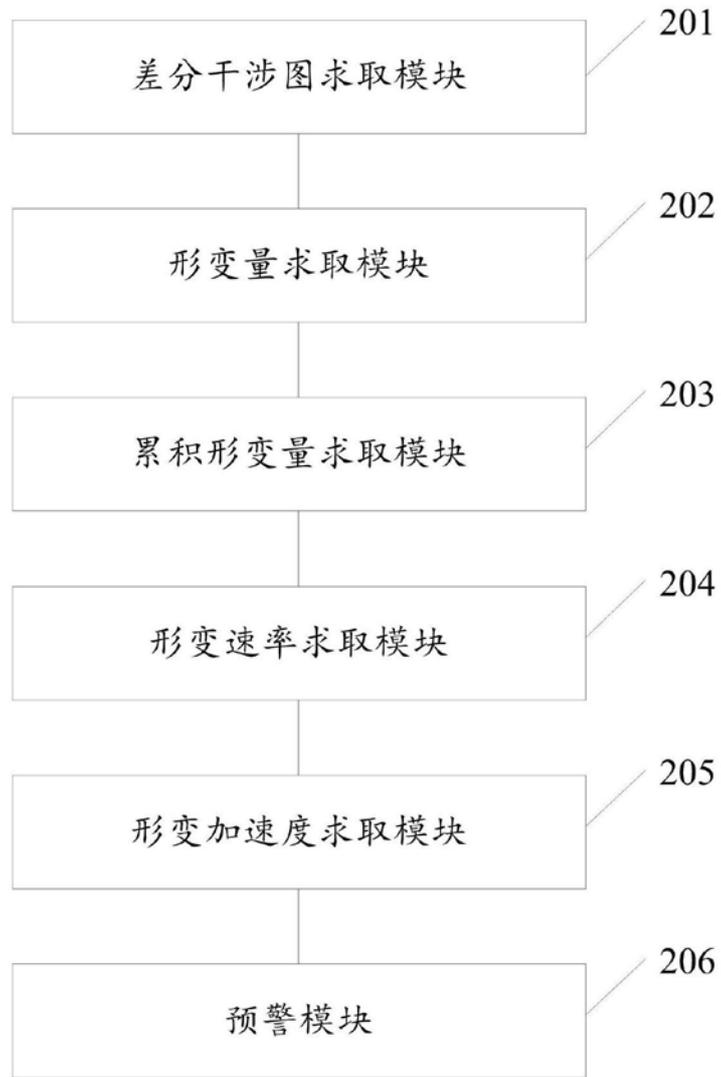


图2

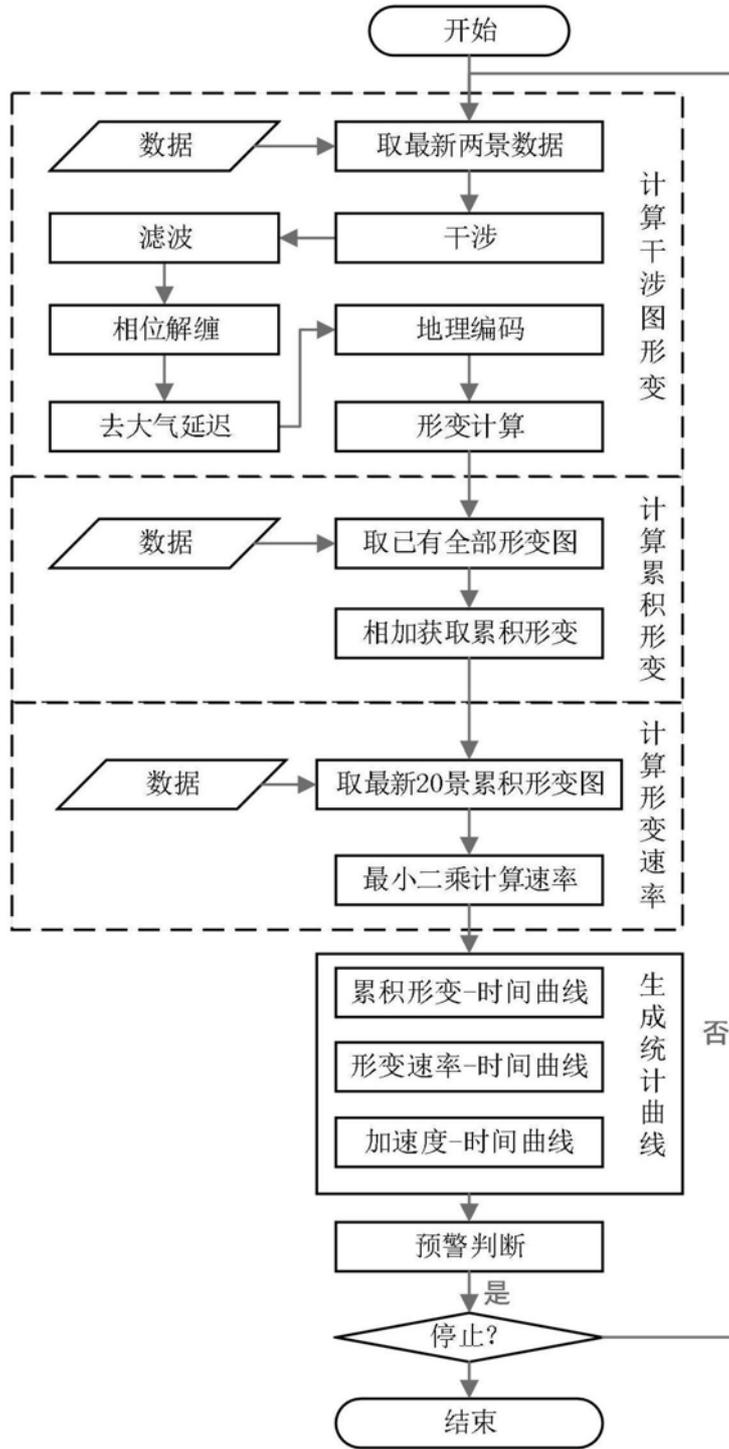


图3

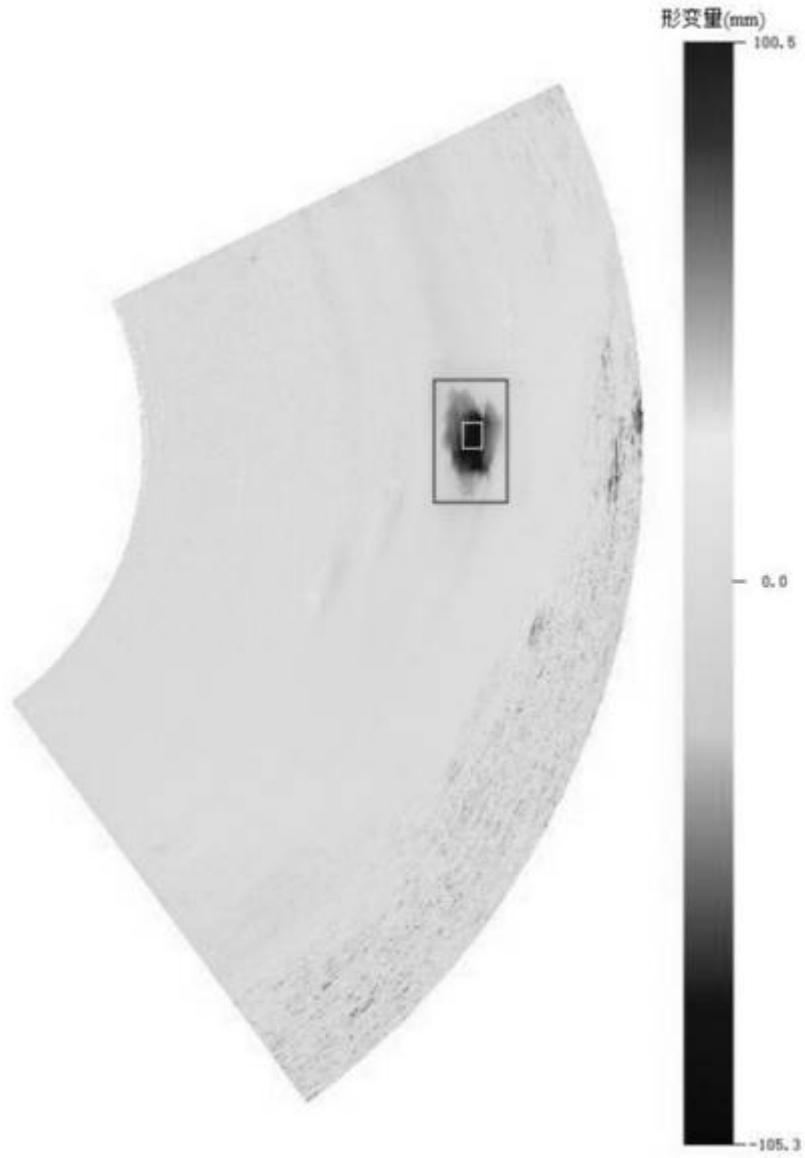


图4

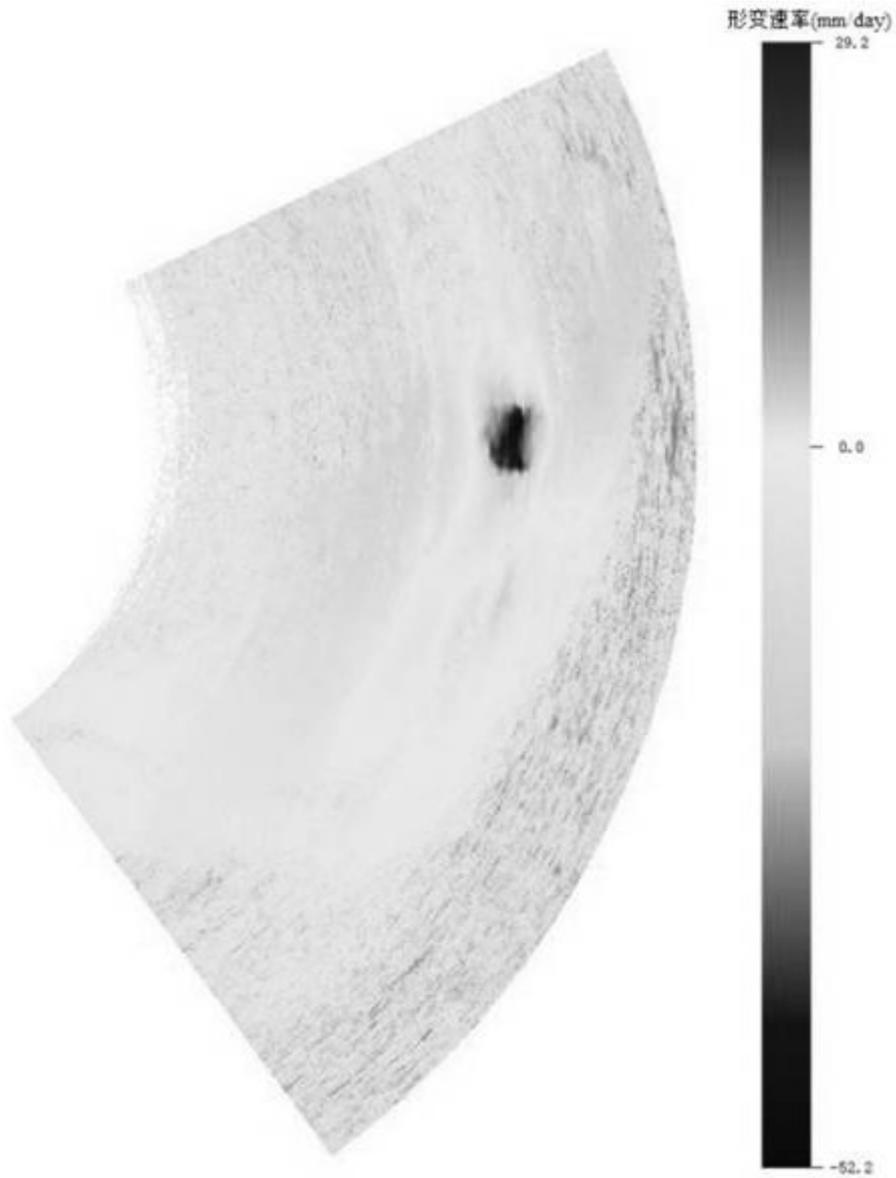
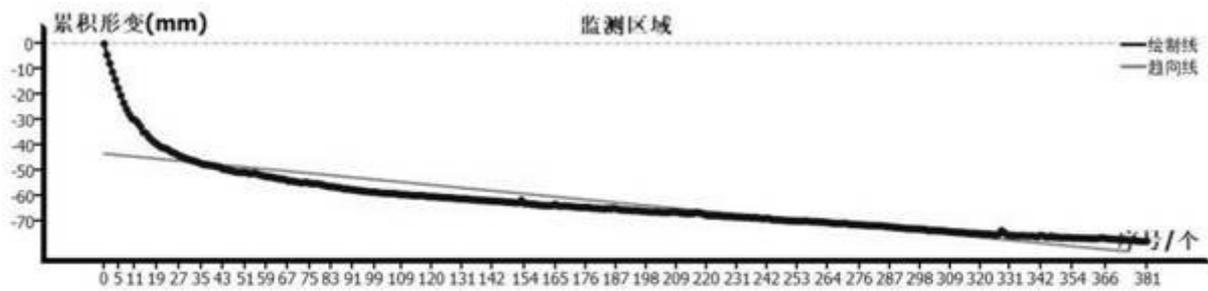
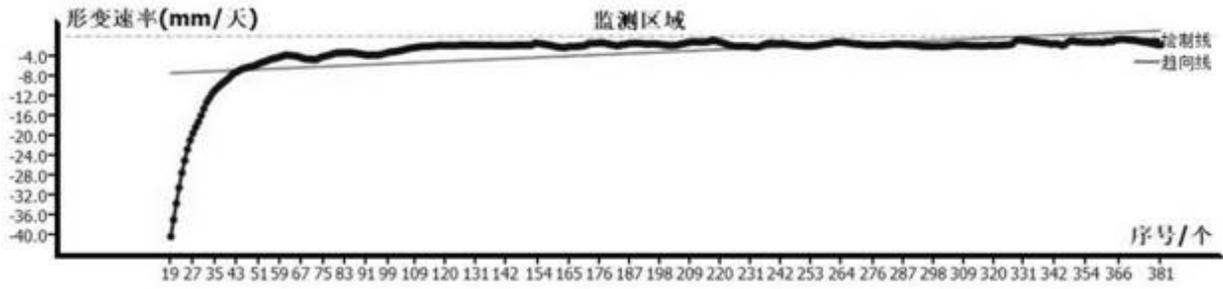


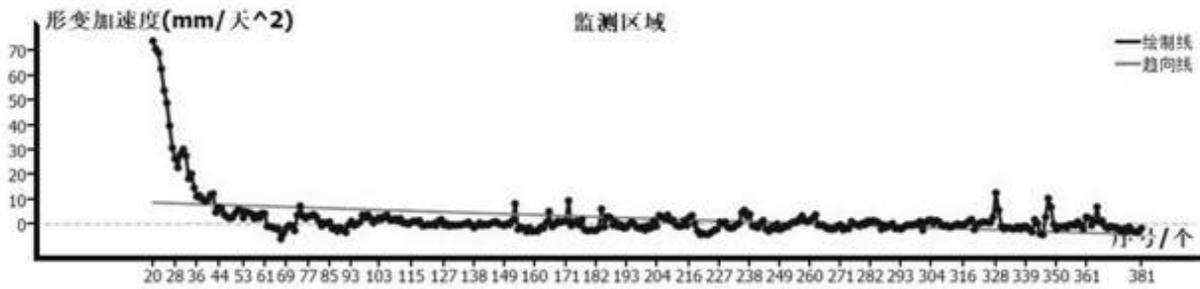
图5



(a)



(b)



(c)

图6

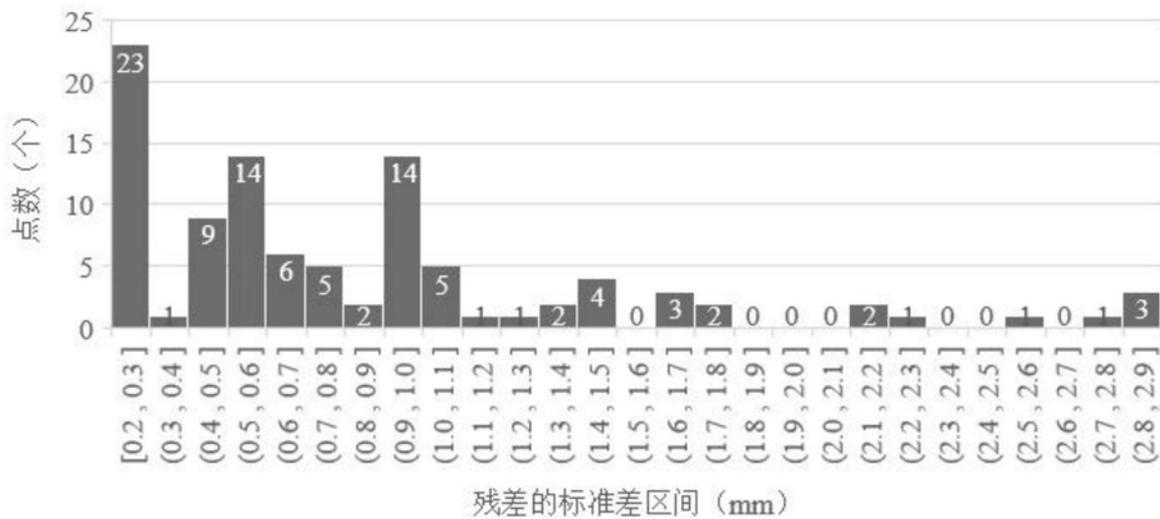


图7