



(21) 申请号 202411632232.9

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2024.11.15

G06N 20/20 (2019.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119577641 A

(43) 申请公布日 2025.03.07

(73) 专利权人 河海大学

地址 210024 江苏省南京市鼓楼区西康路1号

(72) 发明人 刘懿 张林齐 杨子锐 任立良

李一平 卫林勇 史锐光 张欣雨

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

专利代理师 赵彦

(51) Int. Cl.

G06F 18/2433 (2023.01)

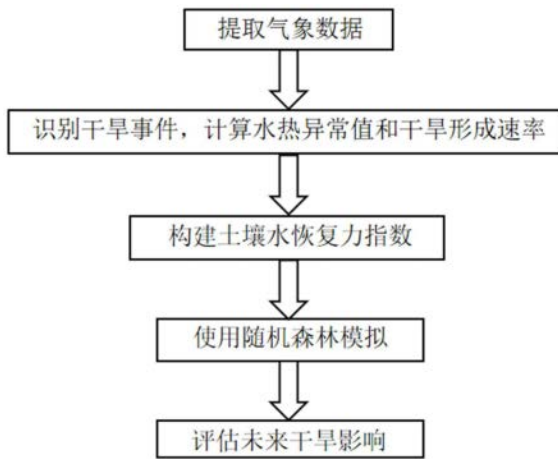
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法及系统,该方法包括:提取计算研究区域气象数据的时间序列,并对降水量和蒸散发量进行标准化处理;计算土壤含水量分位数识别干旱,完成干旱时段划分,获得水热异常特征值与干旱形成速率;构建土壤水恢复力指数;使用随机森林模拟干旱速率;对干旱影响进行评估。本发明能够提高对骤发干旱事件的发生与影响预估的精确度。



1. 一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于,该方法包括:根据气象数据的时间序列,计算平均降水量、蒸散发量和平均土壤含水量,对平均降水量、蒸散发量进行标准化,得到标准化后的平均降水量和蒸散发量,对平均土壤含水量转换为分位数值,得到平均土壤含水量分位数;根据平均土壤含水量分位数识别干旱事件,针对各干旱事件,根据标准化后的平均降水量和蒸散发量,计算水热异常特征与干旱形成速率;根据平均土壤含水量分位数计算土壤水恢复力指数,通过自然断点法划分土壤水恢复力指数的等级;根据水热异常特征和干旱形成速率,训练随机森林模型得到干旱预测模型;根据水热异常特征,使用训练好的干旱预测模型,得到干旱形成速率预测值,并根据干旱形成速率预测值计算对应的土壤水恢复力指数预测值;根据土壤水恢复力指数预测值、预测前的土壤水恢复力指数和土壤水恢复力指数的等级,判断未来干旱影响;

计算水热异常特征包括:在干旱初始时段下,计算标准化降水负异常累积值 ΣSP 、标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 、降水负异常历时 ΣT_p 与蒸散发量正异常历时 ΣT_e ;土壤含水量分位数第一次下降至设定阈值时为干旱开始时刻 T_0 ,干旱开始时刻 T_0 之前的若干周至干旱开始时刻 T_0 定义为干旱初始时段;

负异常指异常值小于0的状态,正异常指异常值大于0的状态,标准化降水负异常累积值 ΣSP 与标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 分别为降水负异常和蒸散发正异常标准化值的累和;异常历时指表现出异常状态的历时总和。

2. 根据权利要求1所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:气象数据包括日降水量数据、日平均气温数据、日风速数据和日土壤含水量数据。

3. 根据权利要求1所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:对平均土壤含水量转换为分位数值包括:计算平均土壤含水量SM的概率分布函数;采用K-S检验法与均方根误差法拟合出最佳概率分布函数;根据最佳概率分布函数,将土壤含水量转换为分位数,得到土壤水含水量分位数SMP。

4. 根据权利要求1所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:根据平均土壤含水量分位数识别干旱事件包括:土壤水含水量分位数低于设定阈值则判断为进入干旱状态。

5. 根据权利要求1所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:计算干旱形成速率包括:在干旱形成时段下,计算土壤水平平均下降速率 RI_{mean} ;土壤水含水量分位数第一次下降至设定阈值时为干旱开始时刻 t_0 ,土壤水含水量分位数下降至拐点时为干旱形成时刻 t_d ,干旱开始时刻 t_0 至干旱形成时刻 t_d 定义为干旱形成时段。

6. 根据权利要求5所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:土壤水平平均下降速率 RI_{mean} 的计算公式如下:

$$RI_{mean} = \frac{1}{d} \sum_{i=0}^d \left[\frac{SMP(t_{i+1}) - SMP(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \right], t_0 \leq t_i \leq t_d$$

式中, RI_{mean} 为土壤水平平均下降速率,d为干旱开始时刻至干旱形成时刻的总时长, t_i 为第i时刻, t_{i+1} 为第i时刻的下一时刻, t_0 为干旱开始时刻, t_d 为干旱形成时刻,SMP为土壤水含水量分位数。

7. 根据权利要求1所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:计算土

壤水恢复力指数包括:首先计算土壤水适应性指数和土壤水平均下降速率年际变化值,然后根据土壤水平均下降速率年际变化值与标准化后的土壤水适应性指数,计算土壤水恢复力指数;

所述土壤水适应性指数是土壤水含水量分位数的年际变化线性趋势线的斜率,计算式为:

$$A = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

其中,A为土壤水适应性指数,n表示总年数,x代表具体年份,y代表土壤水含水量分位数的年变化率;

所述土壤水平均下降速率年际变化值,计算式为:

$$RI_{year} = \frac{\sum_{x=1}^n |\overline{RI}_{mean,x} - \overline{RI}_{mean}|}{\overline{RI}_{mean}}$$

其中 RI_{year} 为土壤水平均下降速率年际变化值, $\overline{RI}_{mean,x}$ 代表第x年 RI_{mean} 的平均值, $\overline{RI}_{mean}$ 代表 RI_{mean} 总序列的平均值;

所述土壤水恢复力指数计算式为:

$$\lambda = SA - RI_{year}$$

式中, λ 为土壤水恢复力指数,SA为标准化后的土壤水适应性指数。

8.根据权利要求7所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,其特征在于:根据土壤水恢复力指数预测值、预测前的土壤水恢复力指数和土壤水恢复力指数的等级,判断未来干旱影响包括:当土壤水恢复力指数预测值小于预测前的土壤水恢复力指数时,计算土壤水恢复力指数预测值与预测前的土壤水恢复力指数,如果二者所处土壤水恢复力指数等级有变化,则判断预测的干旱对研究区域有重大影响;如果二者所处土壤水恢复力指数等级没有变化,则进一步计算二者的差值绝对值,如果差值绝对值超过所处土壤水恢复力指数等级的范围绝对值的k%,则判断预测的干旱对研究区域有重大影响,否则,判断预测的干旱对研究区域没有重大影响。

9.一种基于水热异常特征的干旱影响预测系统,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至8中任一项所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法。

一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种未来干旱影响的预测方法,尤其涉及一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法及系统。

背景技术

[0002] 随着人类活动的影响,全球气象环境显著变化,干旱随着气温的不断升高逐渐表现出一种快速发展的模式,形成了短历时、高强度的骤发干旱。

[0003] 对于传统干旱,普遍的研究方法是通过分析干旱的历时、面积或作物情况反应干旱特征,再通过气象条件构建指数指示干旱事件,进而将指数与特征联系在一起,完成基于气象条件的干旱特征预测。然而,这种方法忽视了土壤水的恢复力。对于有些恢复力差的区域,同样的一场干旱可能会产生更深远的影响,造成难以估量的损失。现有技术无法对所预测到的干旱事件到底会产生何种影响进行提前估计。同时,当今不少干旱事件已经与传统干旱不同,在复合多异常的影响下有着更快的形成速率,这使得在使用传统方法研究时往往低估了干旱的形成速率,在部分极端环境下,使用传统方法研究评估骤发干旱具有较大的误差。

发明内容

[0004] 发明目的:针对以上问题,本发明提出一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法及系统,能够提高对骤发干旱事件的发生与影响预估的精确度。

[0005] 技术方案:本发明所采用的技术方案是一种基于水热异常特征的干旱影响预测方法,该方法包括:根据气象数据的时间序列,计算平均降水量、蒸散发量和平均土壤含水量,对平均降水量、蒸散发量进行标准化,得到标准化后的平均降水量和蒸散发量,对平均土壤含水量转换为分位数值,得到平均土壤含水量分位数;根据平均土壤含水量分位数识别干旱事件,针对各干旱事件,根据标准化后的平均降水量和蒸散发量,计算水热异常特征与干旱形成速率;根据平均土壤含水量分位数计算土壤水恢复力指数,通过自然断点法划分土壤水恢复力指数的等级;根据水热异常特征和干旱形成速率,训练随机森林模型得到干旱预测模型;根据水热异常特征,使用训练好的干旱预测模型,得到干旱形成速率预测值,并根据干旱形成速率预测值计算对应的土壤水恢复力指数预测值;根据土壤水恢复力指数预测值、预测前的土壤水恢复力指数和土壤水恢复力指数的等级,判断未来干旱影响。

[0006] 气象数据包括日降水量数据、日平均气温数据、日风速数据和日土壤含水量数据。

[0007] 对平均土壤含水量转换为分位数值包括:计算平均土壤含水量SM的概率分布函数;采用K-S检验法与均方根误差法拟合出最佳概率分布函数;根据最佳概率分布函数,将土壤含水量转换为分位数,得到土壤水含水量分位数SMP。

[0008] 根据平均土壤含水量分位数识别干旱事件包括:土壤水含水量分位数低于设定阈值则判断为进入干旱状态。

[0009] 计算水热异常特征包括:在干旱初始时段下,计算标准化降水负异常累积值 $\sum SP$ 、

标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 、降水负异常历时 ΣT_p 与蒸散发量正异常历时 ΣT_E ；土壤水含水量分位数第一次下降至设定阈值时为干旱开始时刻 T_0 ，干旱开始时刻 T_0 之前的若干周至干旱开始时刻 T_0 定义为干旱初始时段；

[0010] 负异常指异常值小于0的状态，正异常指异常值大于0的状态，标准化降水负异常累积值 ΣSP 与标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 分别为降水负异常和蒸散发正异常标准化值的累和；异常历时指表现出异常状态的历时总和。

[0011] 计算干旱形成速率包括：在干旱形成时段下，计算土壤水平平均下降速率 RI_{mean} ；土壤水含水量分位数第一次下降至设定阈值时为干旱开始时刻 t_0 ，土壤水含水量分位数下降至拐点时为干旱形成时刻 t_d ，干旱开始时刻 t_0 至干旱形成时刻 t_d 定义为干旱形成时段。

[0012] 土壤水平平均下降速率 RI_{mean} 的计算公式如下：

$$[0013] \quad RI_{mean} = \frac{1}{d} \sum_{i=0}^d \left[\frac{SMP(t_{i+1}) - SMP(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \right], t_0 \leq t_i \leq t_d$$

[0014] 式中， RI_{mean} 为土壤水平平均下降速率， d 为干旱开始时刻至干旱形成时刻的总时长， t_i 为第 i 时刻， t_{i+1} 为第 i 时刻的下一时刻， t_0 为干旱开始时刻， t_d 为干旱形成时刻， SMP 为土壤水含水量分位数。

[0015] 计算土壤水恢复力指数包括：首先计算土壤水适应性指数和土壤水平平均下降速率年际变化值，然后根据土壤水平平均下降速率年际变化值与标准化后的土壤水适应性指数，计算土壤水恢复力指数；

[0016] 所述土壤水适应性指数是土壤水含水量分位数的年际变化线性趋势线的斜率，计算式为：

$$[0017] \quad A = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

[0018] 其中， A 为土壤水适应性指数， n 表示总年数， x 代表具体年份， y 代表土壤水含水量分位数的年变化率；

[0019] 所述土壤水平平均下降速率年际变化值，计算式为：

$$[0020] \quad RI_{year} = \frac{\sum_{x=1}^n |\overline{RI}_{mean,x} - \overline{RI}_{mean}|}{\overline{RI}_{mean}}$$

$$[0021] \quad \overline{RI}_{mean,x}$$

$$[0022] \quad \overline{RI}_{mean}$$

[0023] 所述土壤水恢复力指数计算式为：

$$[0024] \quad \lambda = SA - RI_{year}$$

[0025] 式中， λ 为土壤水恢复力指数， SA 为标准化后的土壤水适应性指数。

[0026] 根据土壤水恢复力指数预测值、预测前的土壤水恢复力指数和土壤水恢复力指数的等级，判断未来干旱影响包括：当土壤水恢复力指数预测值小于预测前的土壤水恢复力指数时，计算土壤水恢复力指数预测值与预测前的土壤水恢复力指数，如果二者所处土壤水恢复力指数等级有变化，则判断预测的干旱对研究区域有重大影响；如果二者所处土壤水恢复力指数等级没有变化，则进一步计算二者的差值绝对值，如果差值绝对值超过所处

土壤水恢复力指数等级的范围绝对值的 $k\%$,则判断预测的干旱对研究区域有重大影响,否则,判断预测的干旱对研究区域没有重大影响。

[0027] 本发明提出一种基于水热异常特征的干旱影响预测系统,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法。

[0028] 有益效果:相比于现有技术,本发明具有以下优点:相比于现有技术,本发明具有以下优点:本发明通过计算土壤水平均下降速率作为干旱形成速率,将由土壤水变化揭示的干旱发展速度与土壤水本身的年际变化相结合,使用随机森林模型,以标准化降水负异常累积值、标准化蒸散发量正异常累积值、降水负异常历时与蒸散发量正异常历时为模型输入,学习和预测干旱形成速率,提高了对干旱事件,尤其是骤发干旱事件发生预估的精准度;同时,本发明引入土壤水恢复力指数,通过历史数据完成恢复力等级划分,结合评估的准确性。

附图说明

[0029] 图1是本发明所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法的流程图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步的说明。

[0031] 本发明所述的基于水热异常特征的干旱影响预测方法,流程图如图1所示。该方法包括:根据气象数据的时间序列,计算平均降水量 P 、蒸散发量 E 和平均土壤含水量 SM ,对平均降水量 P 、蒸散发量 E 进行标准化,得到标准化后的平均降水量 P 和蒸散发量 E ,对平均土壤含水量 SM 转换为分位数值,得到平均土壤含水量分位数;根据平均土壤含水量分位数识别干旱事件,针对各干旱事件,根据标准化后的平均降水量 P 和蒸散发量 E ,计算水热异常特征与干旱形成速率;根据平均土壤含水量分位数计算土壤水恢复力指数,通过自然断点法划分土壤水恢复力指数的等级;根据水热异常特征和干旱形成速率,训练随机森林模型得到干旱预测模型;根据水热异常特征,使用训练好的干旱预测模型,得到干旱形成速率预测值,并根据干旱形成速率预测值计算对应的土壤水恢复力指数预测值;根据土壤水恢复力指数预测值和土壤水恢复力指数的等级,判断未来干旱影响。

[0032] 以下分为五个部分分别对各步骤进行详细的说明。

[0033] 一:根据气象数据的时间序列,计算各网格区域对应的平均降水量 P 、蒸散发量 E 和平均土壤含水量 SM 。

[0034] 空间数据通过对站点数据进行空间插值得到。提取的气象数据包含日降水量数据、日平均气温数据、日风速数据、日土壤含水量数据。所需计算数据为平均降水量 P 、平均蒸散发量 E 和平均土壤含水量 SM 。

[0035] 采用逐日值,利用提取的日降水量数据和日土壤含水量数据,在周尺度上平均求得平均降水量 P 、平均蒸散发量 E 与平均土壤含水量 SM 。

[0036] 蒸散发量数据采用彭曼公式(Penman-Monteith)计算得,公式如下:

$$[0037] \quad E = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)}$$

[0038] 式中,E为蒸散发量; R_n 为作物净辐射量; G 为土壤热通量; T 为2米高处平均气温; u_2 为2米高处风速; e_s 、 e_a 分别为饱和水汽压和实际水汽压; Δ 为饱和水汽压曲线的斜率; r 为湿度计常数。

[0039] 随后需对平均降水量 P 和蒸散发量 E 进行标准化处理,标准化处理采用Z-score标准化,公式如下:

$$[0040] \quad Z = \frac{P - \mu}{\sigma}$$

[0041] 其中, P 是平均降水量,将 P 替换为蒸散发量 E 即蒸散发量 E 的标准化处理, μ 是对应数据的均值, σ 为对应数据的标准差。

[0042] 二:根据土壤含水量分位数识别干旱事件,针对各干旱事件,根据平均降水量 P 、蒸散发量 E 和平均土壤含水量 SM ,计算水热异常特征与干旱形成速率。

[0043] 拟合平均土壤水含水量数据的概率分布函数;采用K-S检验法与均方根误差法优选出最佳概率分布函数;根据最佳概率分布函数,将土壤含水量值转换为分位数值,再根据土壤含水量分位数识别干旱事件。首先认为分位数低于40%阈值时进入干旱状态,随后划分时段,分位数刚下降至40%阈值时被认为是干旱开始时刻 t_0 ;分位数下降至变化幅度较小,或即将持续上升时(取离 t_0 最近的时刻)为干旱形成时刻 t_d 。将 T_{0-7} (t_0 前七周时段)至 t_0 定义为干旱初始时段, T_{0-d} (t_0 后至 t_d)定义为干旱形成时段。另外,应注意只有包含不少于两周的分位数低于20%时段的事件才可被认为是干旱事件。

[0044] 计算水热异常特征:在 T_{0-7} 时段下,计算标准化降水负异常累积值 ΣSP 、标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 、降水负异常历时 ΣT_P 与蒸散发量正异常历时 ΣT_E ;计算干旱形成速率:在 T_{0-d} 时段下的土壤水平均下降速率 RI_{mean} 。

[0045] 其中,负异常指异常值小于0的状态,正异常指异常值大于0的状态。标准化降水负异常累积值 ΣSP 与标准化蒸散发量正异常累积值 ΣSE 即分别为 T_{0-7} 时段下降水负异常和蒸散发正异常标准化值的累和;异常历时指 T_{0-7} 时段下表现出异常状态的总历时,如对于降水,若 T_{0-7} 时段内总共有三段标准值低于0的时段,分别为 T_{P1} 、 T_{P2} 和 T_{P3} ,则 $\Sigma T_P = T_{P1} + T_{P2} + T_{P3}$ 。

[0046] 土壤水平均下降速率 RI_{mean} 的计算公式如下:

$$[0047] \quad RI_{mean} = \frac{1}{d} \sum_{i=0}^d \left[\frac{SM(t_{i+1}) - SM(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \right], t_0 \leq t_i \leq t_d$$

[0048] 三:根据平均土壤含水量分位数构建土壤水恢复力指数,划分恢复力等级。

[0049] 首先计算土壤含水量分位数的年际变化线性趋势线的斜率来表示土壤水随各类异常影响下的变化状态,定义为土壤水适应性指数 A 。公式如下:

$$[0050] \quad y = Ax + B$$

$$[0051] \quad A = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

[0052] 其中, x 代表具体的年份, y 代表平均土壤含水量 SM 的年变化率, B 表示年际变化线

性趋势线的截距；

[0053] 随后计算 RI_{year} 。因每场干旱都存在一个 RI_{mean} ，故可得到与计算土壤水适应性指数A的总时间跨度对应的 RI_{mean} 序列，计算其年际变化，公式如下：

$$[0054] \quad RI_{year} = \frac{\sum_{i=1}^n |\overline{RI}_{mean,i} - \overline{RI}_{mean}|}{\overline{RI}_{mean}}$$

[0055] 其中， $\overline{RI}_{mean,i}$ 代表第i年 RI_{mean} 的平均值， $\overline{RI}_{mean}$ 代表总 RI_{mean} 序列的平均值。

[0056] 定义 $\lambda = SA - RI_{year}$ ，SA为土壤水适应性指数A的标准化适应性指数。其中 λ 的值越大，代表土壤水恢复力越强，该地区受高 RI_{mean} 干旱的影响越小。采用自然断点法划分恢复力等级，可以完成对研究区域受骤旱影响敏感度情况的评估。自然断点法划分的等级通常不是平均的，例如第一级是-1到-0.5，第二级是-0.5到-0.3。

[0057] 四：使用随机森林模拟干旱形成速率。

[0058] 将 ΣSP 、 ΣSE 、 ΣT_p 和 ΣT_e 分别作为自变量 X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4 ，土壤水平均下降速率 RI_{mean} 作为因变量Y导入随机森林模型，随机抽取70%的样本作为训练集、30%的样本作为测试集，即可得到基于水热异常特征的干旱形成速率的预测模型。

[0059] 在未来，当监测到干旱开始，或土壤含水量值抵达40%分位数时，即可利用该预测模型通过输入 ΣSP 、 ΣSE 、 ΣT_p 和 ΣT_e 模拟干旱形成速率 RI_{mean} 。

[0060] 五：判断未来干旱影响。

[0061] 将随机森林模拟的未来某场干旱的土壤水平均下降速率纳入年际变化值 RI_{year} 的计算，即将该场干旱作为全时间跨度中的最后一场干旱纳入计算。得出 λ 预测值后与原实际值（即步骤三中计算得到的 λ 值）进行比较。如果预测值变大的话，不做后续评估。如果预测值变小的话说明预测干旱对区域存在一定影响。当 λ 变化值超过所处的等级分段的50%，则认为该场干旱对研究区域有较为严重的影响。

[0062] 要超过所处的等级分段的50%，以第一级是-1到-0.5，第二级是-0.5到-0.3为例，如果 λ 值从-0.5变为-0.75（ λ 变化值超过0.5的50%，也就是减少了0.25以上），则认为有重大影响。

[0063] 等级分段设定50%为阈值并不是一定的，最严谨的做法是，根据研究区域选择不同的阈值，通过把历史上有较大影响的干旱时间代入计算，根据计算的变化幅度来确定阈值。50%一般来说会偏高。

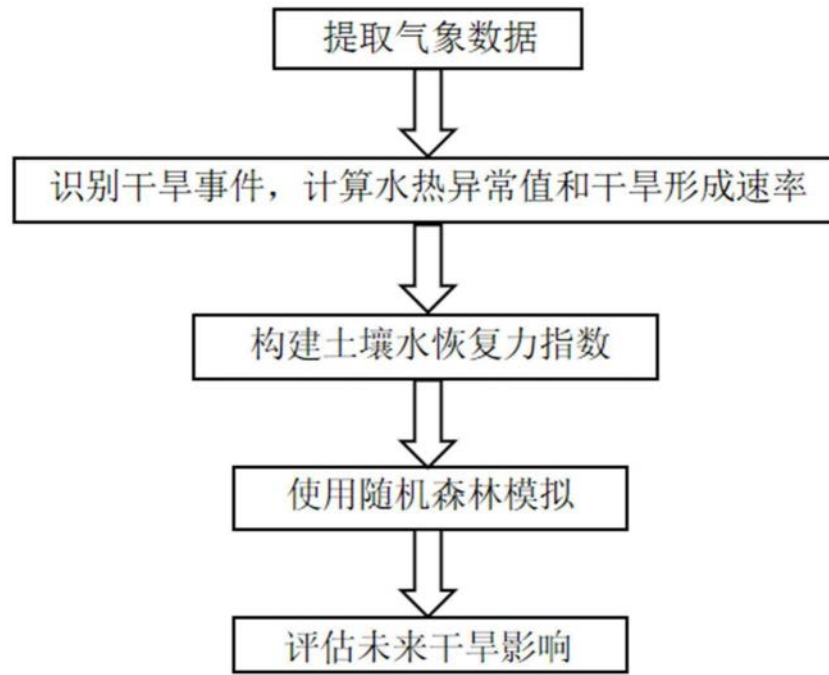


图1