



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114996943 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 22

(21) 申请号 202210630407.7

US 2016196513 A1, 2016.07.07

(22) 申请日 2022.06.06

CN 113987823 A, 2022.01.28

(65) 同一申请的已公布的文献号

刘磊等. 考虑降雨及库水位变动的区域滑坡灾害稳定性评价研究.《岩石力学与工程学报》. 2017, 第37卷(第02期), 403-414.

申请公布号 CN 114996943 A

(43) 申请公布日 2022.09.02

陈鲜艳等. 2020年长江三峡地区气候状况及降水异常成因.《水利水电技术(中英文)》. 2022, 第53卷1-6.

(73) 专利权人 国家气候中心

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街46号

XiyanChen等. Analysis of lengths, water areas and volumes of the Three Gorges Reservoir at different water levels using Landsat images and SRTM DEM data.《Quaternary International》. 2013, 第304卷115-125.

(72) 发明人 常蕊 陈鲜艳 艾泽 肖瀑 张强 李威

马占山等. 三峡水库对区域气候影响的数值模拟分析.《长江流域资源与环境》. 2010, 第19卷(第9期), 1044-1052.

(74) 专利代理机构 北京锤维联合知识产权代理有限公司 11579

专利代理师 原春香

审查员 田娜

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 106884405 A, 2017.06.23

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法

误差累积增长问题。

(57) 摘要

本发明公开了一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,尤其适用于大型水库的蓄水气候效应评估,该方法主要包括拟评估水库及其周边多源数据收集及预处理;通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化;通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化;基于温湿气候特征的典型年景挑选;库区典型代表年景的数值模拟试验;数值模拟能力检验及水库气候效应评估。本发明通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验,改善了大型水库蓄水气候影响的客观定量评价问题,且数值模拟过程中通过格点同化、循环重叠积分等技术改善长时间积分中的

1. 一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述数值模拟方法至少包括如下步骤:

SS1. 拟评估水库及其周边多源数据的收集及预处理:

首先,收集拟评估水库及其周边的多源数据,所述多源数据至少包括:拟评估水库蓄水后的淹没区位置和面积数据、不同季节水库的水位高度数据、水库周边长序列气象观测数据、中尺度数值模式的驱动数据;

其次,针对所收集的水库周边长序列气象观测数据进行预处理,剔除其中的僵值和虚假值,实现对气象观测数据的质量控制;

SS2. 通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化处理:

利用水库蓄水后的淹没区面积和位置数据,结合水库蓄水前的土地利用类型数据,采用GIS空间分析技术,将水库蓄水后淹没区的土地利用类型描述为水体类型;

SS3. 通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化处理:

采用差异对比法,分别计算水库蓄水后高、低水位与水库蓄水前的静态地形高度差,在数值试验中,根据不同季节动态抬升水库位置处的地形高度,对水库蓄水阶段的水位变化进行数值参数化处理;

SS4. 基于温湿气候特征的典型年景挑选:

基于步骤SS1预处理后的水库周边长序列气象观测数据,通过平均气温和降水量的历年变化,挑选高温干旱年和低温洪涝年,作为库区两种典型代表年景;

SS5. 库区典型代表年景的数值模拟试验:

利用步骤SS1收集的数值模式驱动数据,基于步骤SS2对水库蓄水淹没区土地利用类型变化进行的数值参数化处理以及步骤SS3对水库蓄水水位变化进行的数值参数化处理,在步骤SS4挑选的库区典型代表年景下,分别开展水库蓄水后和蓄水前情景下的敏感性数值模拟试验,获得蓄水前后两组数值模拟结果;

SS6. 数值模拟能力检验及水库气候效应评估:

利用步骤SS1预处理后的水库周边长序列气象观测数据对步骤SS5得到的数值模拟结果进行相关性及偏差检验;

对比计算蓄水前后两组数值模拟试验中关键气象变量的时空差异,利用统计t检验方法对差异进行显著性分析,实现对水库蓄水气候效应的定量评价,其中,t值计算公式如下:

$$t = \frac{\bar{d}}{S_D / \sqrt{n}}$$

式中, \bar{d} 为蓄水前后两组数值模拟结果的差值序列的平均值, S_D 为差值序列的标准差。

2. 根据权利要求1所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS1中,所述水库周边长序列气象观测数据,至少包括:气温、相对湿度、风速和降水量;所述中尺度数值模式的驱动数据,至少包括:拟评估水库及其周边区域的静态地形数据及多要素多层次的土壤-大气数据;针对所收集的水库周边长序列气象观测数据,通过气候阈值及时空一致性检查的方式,剔除原始气象观测数据中的僵值和虚假值。

3. 根据权利要求1所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS2中,利用水库蓄水后的淹没区边界的shp矢量数据,采用GIS空间分析技

术,识别并格点化淹没区的土地利用类型,将其从默认类型调整为内陆水体类型;同时,对应调整水体格点处的优势类型占比系数,将水体系数设置为100%,其余土地利用类型的占比系数均设置为0.0,实现水库蓄水引起的下垫面特征变化的数值描述。

4.根据权利要求1所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS3中,以水库位置处的原地形高度为基准,采用差异对比法,分别计算水库蓄水后高水位、低水位相对于该基准地形高度的差值,记录为 Δh_1 和 Δh_2 ;根据数值模拟的季节特征,对水库位置处输入的地形高度数据进行动态调整,实现对水库蓄水阶段水位变化的数值描述。

5.根据权利要求1所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS4中,利用步骤SS1预处理后的长序列气象观测数据,综合分析水库区域平均气温和降水量的历年变化,挑选出典型的高温干旱年和低温洪涝年,即平均气温偏高且降水偏少年和平均气温偏低且降水偏多年,作为库区两种极端气候特征的代表年景。

6.根据权利要求1所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS5中,在中尺度气象数值模式中引入步骤SS2数值参数化处理后的水库蓄水淹没区土地利用类型变化以及步骤SS3数值参数化处理后的水库蓄水水位变化,利用步骤SS1收集的数值模式驱动数据,在步骤SS4所选库区典型代表年景下,分别开展水库蓄水后和蓄水前情景下的模拟积分。

7.根据权利要求6所述的用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,其特征在于,所述步骤SS5中,为改进模式长时间积分过程中的不完善及误差在计算中的累积增长,数值模拟积分过程中,采用牛顿松弛逼近的格点同化方法对背景资料进行同化;每10天冷启动一次数值模式,每次连续积分11天,前一次模拟的最后1天与后一次模拟的第1天重叠;以每次模拟结果的前24小时作为模式spin-up时间,保留后10天的模拟结果。

一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法

技术领域

[0001] 本发明属于气象数据分析与处理技术领域,涉及一种用于水库蓄水气候效应定量评估的数值模拟方法,尤其涉及一种通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验而建立的水库蓄水气候效应数值模拟方法,特别适用于大型水库的蓄水气候效应评估。

背景技术

[0002] 大型水库蓄水气候效应的科学评估是水库增效基础上保持环境友好的关键。受限于水库周边实测资料的时空代表性问题,数值模拟方法成为水库蓄水气候影响研究的主要手段。

[0003] 尽管已有的水库气候效应数值模拟研究中使用的数值模式工具从边界层模式、静力平衡区域气候模式,逐渐升级为先进的非静力平衡中尺度天气预报模式,但现有模拟方法仍存在以下不足:(1)主要通过修改地表覆盖类型的方式对水库进行简约粗放的参数化,未合理考虑水库水位变化的影响;(2)将无水体覆盖的情景设置为参考试验,这与水库所在位置处原有自然水体的实际情景存在差异;(3)模拟方案中大多采用连续积分方式,长时间模拟情景下易产生气候漂移;(4)模拟积分时段较短,大多是代表日或某个例天气过程,气候特征的代表性有限,难以合理反映大型水库蓄水阶段的气候响应特征。

发明内容

[0004] (一)本发明所要解决的技术问题

[0005] 针对现有水库气候效应数值模拟方法中所存在的上述技术问题,本发明提出了一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,尤其适用于大型水库的蓄水气候效应评估,该方法主要包括拟评估水库及其周边多源数据收集及预处理;通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化;通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化;基于温湿气候特征的典型年景挑选;库区典型代表年景的数值模拟试验;数值模拟能力检验及水库气候效应评估。本发明通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验而建立的水库蓄水气候效应数值模拟方法,改善了水库蓄水气候影响的客观定量评价问题,因而尤其适用于大型水库的蓄水气候效应评估;同时,数值模拟过程中通过格点同化、循环重叠积分等方式改善了长时间积分中的误差累积增长问题。本发明提供的模拟方法具有较强的普适性,采用该数值模拟方法,既可以对已建水库蓄水的气候效应进行后评价,也可以对拟建水库的气候效应开展预评价。

[0006] (二)本发明为解决其技术问题所采用的技术方案为:

[0007] 一种用于水库蓄水气候效应评估的中尺度数值模拟方法,所述数值模拟方法基于水库蓄水气候影响的客观定量评价而开展,其特征在于,所述数值模拟方法至少包括如下步骤:

[0008] SS1. 拟评估水库及其周边多源数据的收集及预处理:

[0009] 首先,收集拟评估水库及其周边的多源数据,所述多源数据至少包括:拟评估水库蓄水后的淹没区位置和面积数据、不同季节水库的水位高度数据、水库周边长序列气象观测数据、中尺度数值模式的驱动数据;

[0010] 其次,针对所收集的水库周边长序列气象观测数据进行预处理,剔除其中的僵值(连续多个时次的观测值相同)和虚假值,实现对气象观测数据的质量控制;

[0011] SS2. 通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化处理:

[0012] 利用水库蓄水后的淹没区面积和位置数据,结合水库蓄水前的土地利用类型数据,采用GIS(地理信息系统)空间分析技术,将水库蓄水后淹没区的土地利用类型描述为水体类型;

[0013] SS3. 通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化处理:

[0014] 采用差异对比法,分别计算水库蓄水后高(冬季)、低水位(夏季)与水库蓄水前的静态地形高度差,在数值试验中,根据不同季节动态抬升水库位置处的地形高度,对水库蓄水阶段的水位变化进行数值参数化处理;

[0015] SS4. 基于温湿气候特征的典型年景挑选:

[0016] 基于步骤SS1预处理后的水库周边长序列气象观测数据,通过平均气温和降水量的历年变化,挑选高温干旱年和低温洪涝年,作为库区两种典型代表年景;

[0017] SS5. 库区典型代表年景的数值模拟试验:

[0018] 利用步骤SS1收集的数值模式驱动数据,基于步骤SS2对水库蓄水淹没区土地利用类型变化进行的数值参数化处理以及步骤SS3对水库蓄水水位变化进行的数值参数化处理,在步骤SS4挑选的库区典型代表年景下,分别开展水库蓄水后和蓄水前情景下的敏感性数值模拟试验,获得蓄水前后两组数值模拟结果;

[0019] SS6. 数值模拟能力检验及水库气候效应评估:

[0020] 利用步骤SS1预处理后的水库周边长序列气象观测数据对步骤SS5得到的数值模拟结果进行相关性及偏差检验;对比计算蓄水前后两组数值模拟试验中关键气象变量的时空差异,实现对水库蓄水气候效应的定量评价。

[0021] 优选地,所述步骤SS1中,所述水库周边长序列气象观测数据,至少包括:气温、相对湿度、风速和降水量;所述中尺度数值模式的驱动数据,至少包括:拟评估水库及其周边区域的静态地形数据及多要素多层次的土壤-大气数据;针对所收集的水库周边长序列气象观测数据,通过气候阈值及时空一致性检查的方式,剔除原始气象观测数据中的僵值和虚假值。

[0022] 优选地,所述步骤SS2中,利用水库蓄水后的淹没区边界的shp矢量数据,采用GIS空间分析技术,识别并格点化淹没区的土地利用类型,将其从默认类型调整为内陆水体类型;同时,对应调整水体格点处的优势类型占比系数,将水体系数设置为100%,其余土地利用类型的占比系数均设置为0.0,实现水库蓄水引起的下垫面特征变化的数值描述。

[0023] 优选地,所述步骤SS3中,以水库位置处的原地形高度为基准,采用差异对比法,分别计算水库蓄水后高水位(冬季)、低水位(夏季)相对于该基准地形高度的差值,记录为 Δh_1 和 Δh_2 ;根据数值模拟的季节特征,对水库位置处输入的地形高度数据进行动态调整,实

现对水库蓄水阶段水位变化的数值描述。

[0024] 优选地,所述步骤SS4中,利用步骤SS1预处理后的长序列气象观测数据,综合分析水库区域平均气温和降水量的历年变化,挑选出典型的高温干旱年和低温洪涝年,即平均气温偏高且降水偏少年和平均气温偏低且降水偏多年,作为库区两种极端气候特征的代表年景。

[0025] 优选地,所述步骤SS5中,在中尺度气象数值模式中引入步骤SS2数值参数化处理后的水库蓄水淹没区土地利用类型变化以及步骤SS3数值参数化处理后的水库蓄水水位变化,利用步骤SS1收集的数值模式驱动数据,在步骤SS4所选库区典型代表年景下,分别开展水库蓄水后和蓄水前情景下的模拟积分。

[0026] 进一步地,所述步骤SS5中,为改进模式长时间积分过程中的不完善及误差在计算中的累积增长,数值模拟积分过程中,采用牛顿松弛逼近的格点同化方法对背景资料进行同化;每10天冷启动一次数值模式,每次连续积分11天,前一次模拟的最后1天与后一次模拟的第1天重叠;以每次模拟结果的前24小时作为模式spin-up时间,保留后10天的模拟结果。

[0027] 优选地,所述步骤SS6中,通过模拟值与观测值的相关系数和标准偏差或相对误差作为指标,评估数值模式对水库区域气候的模拟能力;对比计算两组模拟结果的时空差异,并利用统计t检验方法对差异进行显著性分析,进而客观定量评估水库蓄水的气候效应。

[0028] (三)同现有技术相比,本发明的有益效果:

[0029] 本发明通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验而建立的大型水库蓄水气候效应数值模拟方法,改善了大型水库蓄水气候影响的客观定量评价问题,且数值模拟过程中通过格点同化、循环重叠积分等技术改善长时间积分中的误差累积增长问题,模拟方法具有普适性。采用该数值模拟方法,既可以对已建水库蓄水的气候效应进行后评价,也可以对拟建水库的气候效应开展预评价。

附图说明

[0030] 图1为本发明通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验而建立的大型水库蓄水气候效应数值模拟方法示意图。

[0031] 图2为某大型水库蓄水前后水位高度的逐月变化及其差值变化图。

[0032] 图3为某水库区域7月平均气温和降水量历年变化图。

[0033] 图4为低温洪涝年(2020年)冬、夏季敏感性试验与参考试验2m气温差值图。打点区为通过95%显著性检验的区域。

[0034] 图5为典型区域平均的气温垂直变化图,实线为参考试验,虚线为敏感性试验。

具体实施方式

[0035] 为使本发明实施的目的、技术方案和优点更加清楚,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更加详细的描述。所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员

在没有作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。

[0036] 如图1所示,本发明通过扩宽水体面积和抬升水位高度刻画的水库蓄水相关的陆面参数变化及典型年景敏感性数值试验而建立的大型水库蓄水气候效应数值模拟方法,该模拟方法在构建时至少包括如下步骤:

[0037] SS1. 拟评估水库及其周边多源数据的收集及预处理;

[0038] SS2. 通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化;

[0039] SS3. 通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化;

[0040] SS4. 基于温湿气候特征的典型年景挑选;

[0041] SS5. 库区典型代表年景的数值模拟试验;

[0042] SS6. 数值模拟能力检验及水库气候效应评估。

[0043] 1、上述步骤SS1中,拟评估水库及其周边多源数据收集及预处理

[0044] 收集评估所需水库淹没面积及不同季节水位高度数据,气象观测资料,如气温、相对湿度、风速和降水量等,及中尺度数值模式的驱动数据,如图1中所示CFSv2等。针对气象观测资料,首先通过各个气象变量的气候阈值剔除原始数据中的超过合理阈值的虚假值;对于连续多个时次的观测值固定不变的僵值,通过 $u_{t+1} - u_t = 0$ 进行筛选和剔除,其中, u_{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的观测值, u_t 表示 t 时刻的观测值。

[0045] 2、上述步骤SS2中,通过拓宽水体面积对水库蓄水淹没区的土地利用类型变化进行数值参数化处理:

[0046] 首先合理评估SS1中收集的静态地形数据对水库蓄水前的自然水体特征的刻画能力,如默认静态地形数据未真实反映自然水体特征,则需通过叠加水库蓄水前水体shp文件的方式,优化静态地形数据中的水体信息,并对应调整水体格点处的优势类型占比系数,将“水体”系数设置为100%,其余土地利用类型的占比系数均设置为0.0,作为水库蓄水前的下垫面状态(图1,蓄水前);在上述水体shp数据基础上,根据SS1水库淹没区面积数据,调整地形数据中的下垫面数据,即拓宽水体面积,并对应调整水体格点处的优势类型占比系数,将“水体”系数设置为100%,其余土地利用类型的占比系数均设置为0.0,作为水库蓄水后的下垫面状态(图1,蓄水后)。

[0047] 3、上述步骤SS3中,通过抬升水体高度对水库蓄水水位变化进行数值参数化

[0048] 根据SS1水库蓄水前后水位高度的逐月变化(图2),以水库位置处的原地形高度为基准,分别计算水库蓄水后高水位运行和低水位运行期间,水体位置处的地形高度相对于该基准地形高度的落差,记录为 Δh_1 和 Δh_2 ;将上述随时间动态变化的高度落差引入蓄水后的数值试验中。

[0049] 4、上述步骤SS4中,基于温湿气候特征的典型年景挑选

[0050] 利用SS1所述质控后的长序列气象观测资料,在拟评估区域内进行面积加权平均后,综合分析水库区域平均气温和降水量的历年变化(图3),挑选出平均气温偏高且降水偏少年(2013年)和平均气温偏低且降水偏多年(2020年),作为库区两种典型气候特征的代表年景。

[0051] 5、上述步骤SS5中,库区典型代表年景的数值模拟试验

[0052] 在中尺度气象数值模式中引入SS2-SS3所述水库蓄水相关的陆面参数数值化方法,利用SS1收集的CFSv2驱动数据,在SS4所选的高温干旱和低温洪涝年景下,分别开展水

库蓄水后和蓄水前情景下的模拟积分(图1)。数值模拟积分过程中,采用牛顿松弛逼近的格点同化方法对背景资料进行同化;每10天冷启动一次数值模式,每次连续积分11天,前一次模拟的最后1天与后一次模拟的第1天重叠;以每次模拟结果的前24小时作为模式spin-up时间,保留后10天的模拟结果。

[0053] 6、上述步骤SS6中,数值模拟能力检验及水库气候效应评估

[0054] 采用双线性插值方法对模拟数据进行空间插值,得到各个台站位置处的数值模拟资料。通过计算气象站位置处的模拟值与观测值的相关系数和标准偏差(或相对误差)来评估数值模式对水库区域气候特征的模拟能力。

[0055] 采用t值来检验水库水体变化引起的气象要素变化的显著程度。每个模拟网格点处均有两组时间序列数值,分别对应参考试验($x_1^{CT}, x_2^{CT}, \dots, x_n^{CT}$)、敏感性试验($x_1^{SCEN}, x_2^{SCEN}, \dots, x_n^{SCEN}$)。序列 x^d 代表敏感性试验与参考试验之间的差值($x_i^d = x_i^{SCEN} - x_i^{CT}, i = 1, 2, \dots, n$)。t值计算公式如下:

$$[0056] \quad t = \frac{\bar{d}}{S_D/\sqrt{n}}$$

[0057] 其中, \bar{d} 为两组数值模拟结果的差值序列的平均值, S_D 为差值序列的标准差。通过上述公式分别计算每个模拟格点处的t值,并与 $t_{0.05}$ 对应的统计值进行比较,来辨识时空差异通过95%显著性的格点。最终,实现对大型水库蓄水气候效应的量化评估,包括响应强度及其水平分布(图4)、垂直延伸高度(图5)、日变化及随距离远近位置的变化等。

[0058] 此实施例仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

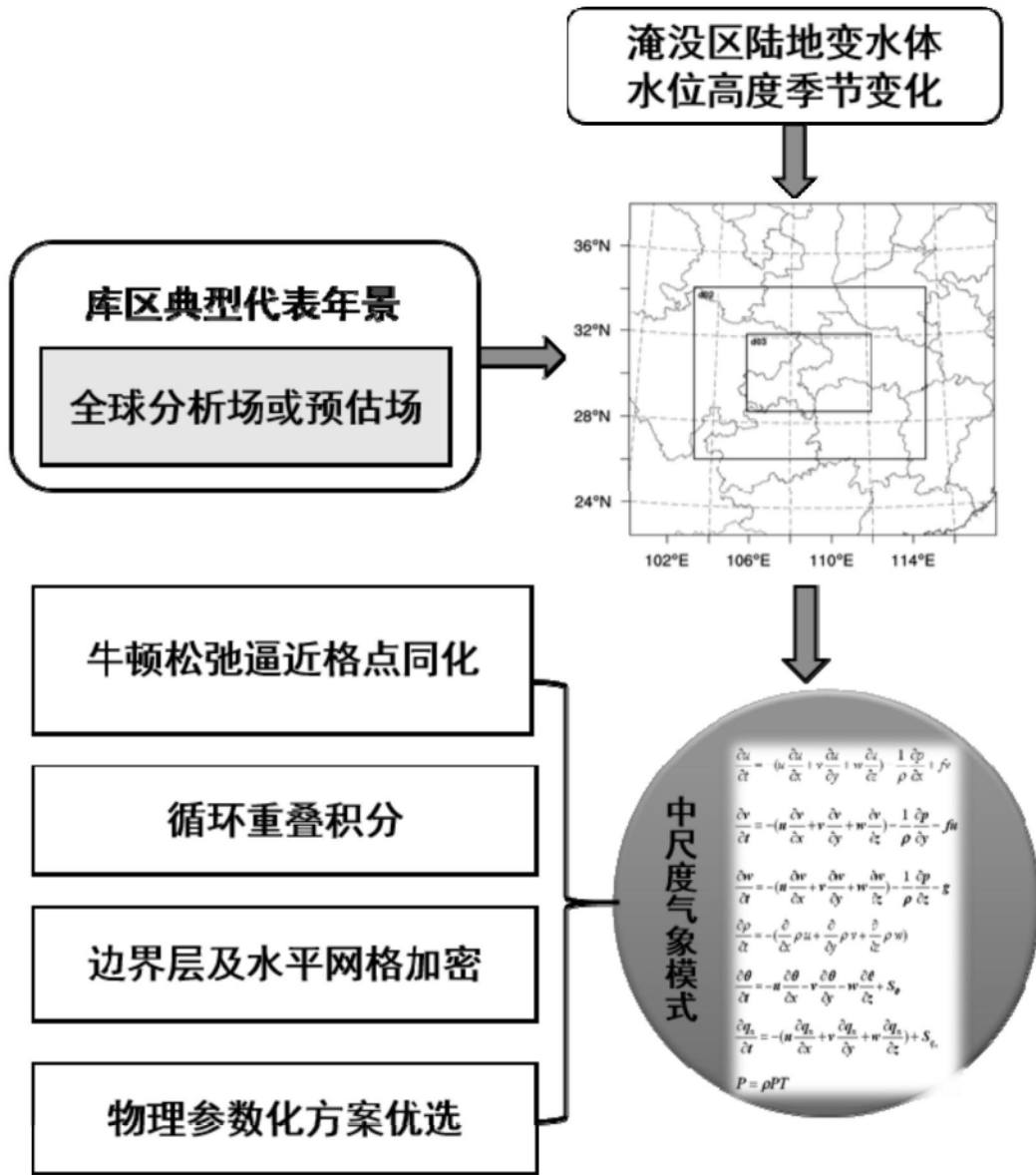


图1

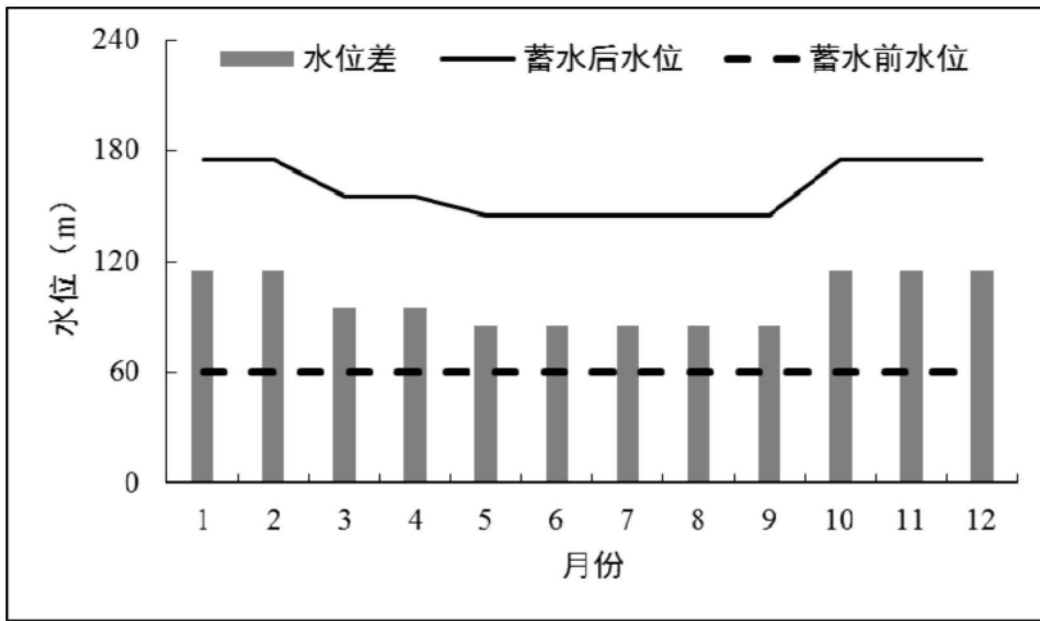


图2

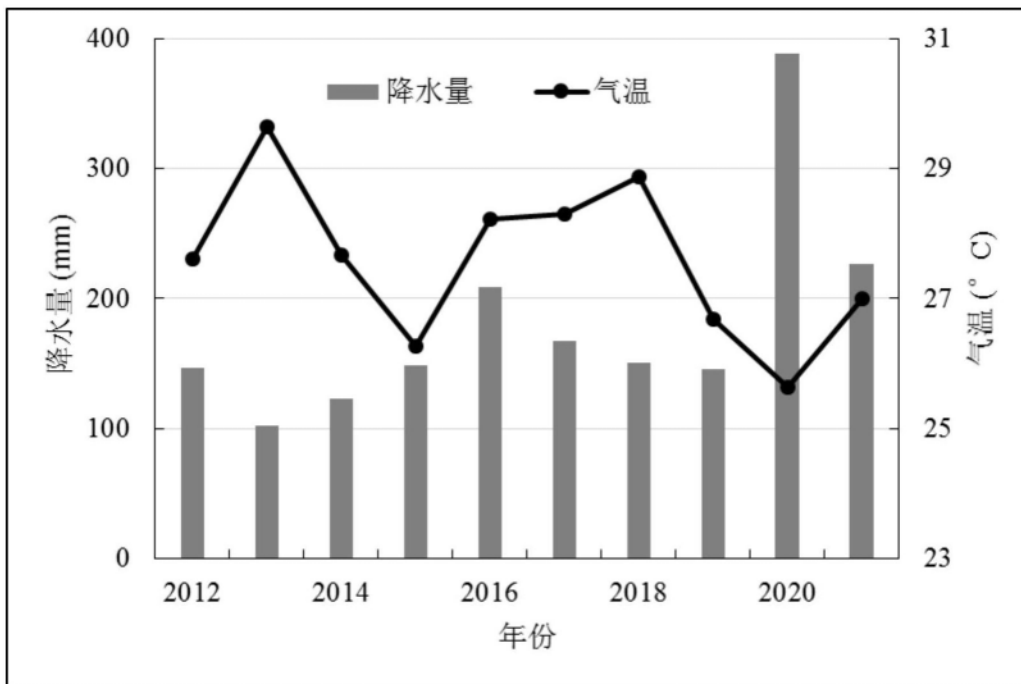


图3

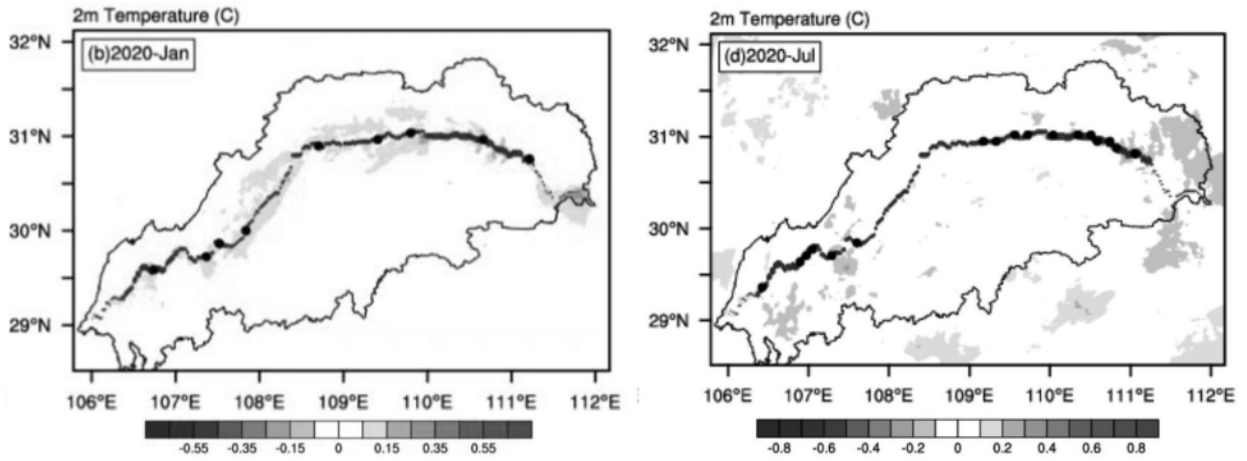


图4

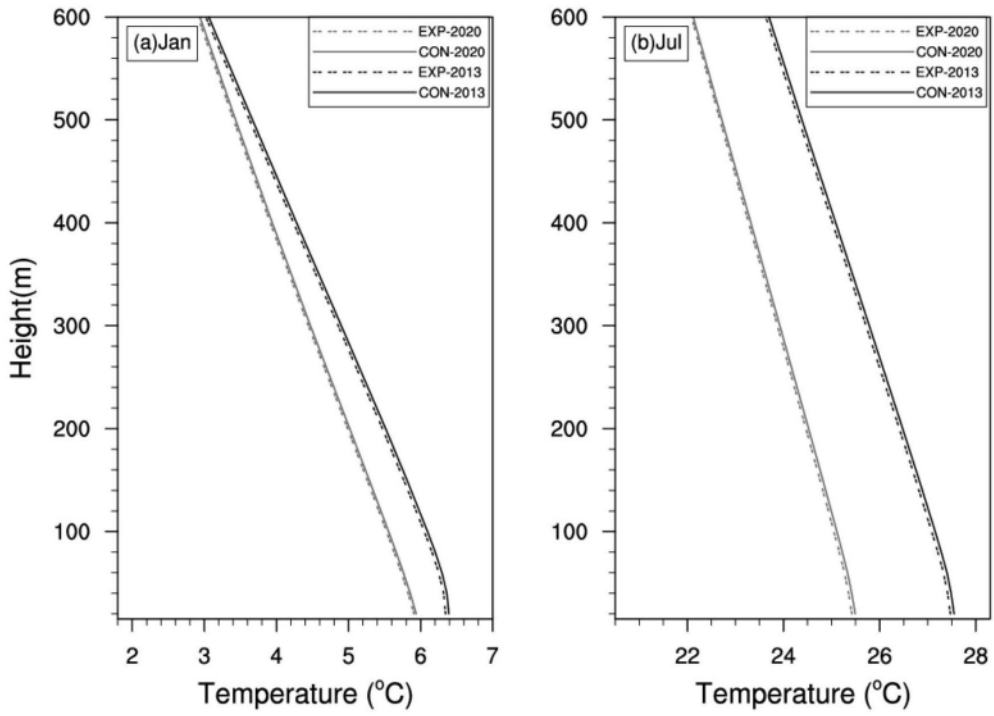


图5