基于 GIS 的干旱区分布式产汇流过程模拟系统的研建

蔺 虎[a,b], 刘志辉[a,b,c,d], 李诚志[a,b,c], 孟现勇[a,b]

(新疆大学 a. 资源与环境科学学院; b. 教育部绿洲生态重点实验室; c. 干旱生态环境研究所;
d. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 为了研究分布式水文模型与 GIS 耦合以及干旱区产汇流过程模拟,采用 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library,地理空间数据抽象库)对 GeoTIFF 文件进行操作,结合栅格叠合的空间分析方法及分布式融雪洪水模型,并应用面向对象的思想建立了分布式产汇流过程模拟系统。最后通过在新疆军塘湖流域的模拟应用,结果表明该系统模拟的可靠性和准确性,可以为研究区的水资源综合利用和管理提供重要参考依据。

关键词: 分布式水文模型; 地理信息系统; 地理空间数据抽象库

中图分类号:TV121.7 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2012)05-0038-05

Study and construction of distributed runoff yield process simulation system based on GIS in arid areas

LIN Hu[a,b], LIU Zhihui[a,b,c,d], LI Chengzhi[a,b,c], MENG Xianyong[a,b]

(*a. School of Resources and Environment Science; b. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education; c. Institute of Arid Ecology and Environment; d. International Center for Desert Affairs – Research on Sustainable Development in Arid and Semi – arid Lands, Xinjiang University, Urumqi* 830046, *China*)

Abstract: In order to study the coupling of the distributed hydrological model and GIS and simulation of the arid area runoff and the confluence process, using GDAL(Geospatial Data Abstraction Library) to operate GeoTIFF files, combined with a grid superimposed spatial analysis methods and distributed snowmelt flood model, and adopting the idea of object-oriented, the paper built the distributed runoff process simulation system. Through simulation application at Juntanghu basin in Xinjiang, the results show that the simulation system is reliable and accurate and can provide an important reference for future comprehensive utilization and management of water resources in the study area.

Key words: distributed hydrological model; geographic information system; geospatial data abstraction library

0 前 言

近年来对分布式水文模型的研究乃是国际水文学界的前沿和热点课题[1]。但是其中对于融雪径流过程的研究较为滞后。蓝永超和曾群柱等提出了河西地区融雪径流的灰色预测方法[2];刘凤景、MarkWILLIAMS、程国栋等对天山乌鲁木齐河融雪和河川径流的水文化学过程开展了系列研究[3];王建等在中国西部大尺度流域建立了分带式融雪径流模拟模型[4];冯学智等开展了卫星雪盖监测与玛纳斯河融雪径流模拟研究[5];王建等基于遥感与地理信息系统对 SRM 融雪径流模型在 Alps 山区流域的应用开展了系列研究[6];俞鑫颖等建立了分布式冰雪融水雨水混合水文模型[7]。

纵观国内外学者对融雪过程的研究,可以得出,大多仅限于对已有模型如 SRM 模型的应用研究之上,模型的特征、适用性以及科学性均有诸多限制,有待于结合地域差异进一步改进或重新研发合适的模型。本文基于 GIS 技术建立了适合于干旱区的分布式融雪洪水模型以及相应的分布式融雪产汇流模拟系统,利用野外获取的水文资料、气象资料、土壤资料等,对新疆天山北坡军塘湖流域 2006 年春季典型融雪期内的融雪洪水过程进行了模拟研究,并取得较好的模拟效果。

1 基于 GeoTIFF 文件的 DEM 数据格式分析和操作方法

本文采用基于 GeoTIFF(Geographic Tagged Im-

收稿日期:2012-06-25; **修回日期**:2012-07-01
基金项目:国家自然科学基金重点项目(41130531); 国家自然科学基金面上项目(41171023)资助
作者简介:蔺 虎(1987-),男,新疆沙湾人,硕士,主要研究方向为水文模型研究及 GIS 设计开发。
通讯作者:李志辉(1957-),男,河南人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为水文水资源管理、决策支持系统。

age File Format,地理标签图像文件格式)的栅格数据文件格式,GeoTIFF 格式具有失真小、可自定义压缩率、空间信息联合存储、易于操作、通用性好且兼容各种数据来源对 DEM(Digital Elevation Model,数字高程模型)和 DTM(Digital Terrain Model,数字地面模型)的支持比较好等特点。

1.1　GeoTIFF 文件格式的结构

为了使遥感数据直接与其对应的地理信息建立联系,方便使用,GeoTIFF 标准应运而生。GeoTIFF 是在 TIFF(TIFF 是 Adobe 公司制定的一种通用图像格式,因其能够支持多种彩色系统和压缩算法而得到广泛应用)格式标准的基础上建立的。为了正确记录地理信息,GeoTIFF 在 TIFF 标准的基础上又引入了新的坐标空间。GeoTIFF 目前支持三种坐标空间:栅格空间(Raster Space)、设备空间(Device Space)和模型空间(Model Space)。栅格和设备空间在 TIFF6.0 标准中已经定义。为了支持影像和 DEM 数据的存储,GeoTIFF 又将栅格空间细分为描述"面像元"和"点像元"的两类坐标系统。

在 GeoTIFF 中引入了 6 个"地理签"(GeoTag)记录坐标信息,对于其它与地图投影相关的辅助信息则采用一系列"地理键"(GeoKey)处理。在这 6 个地理标签中,单独使用 ModelTransformationTag(变换矩阵)或者联合使用 ModelTiepointTag(控制点)和 ModelPixelScaleTag(像元比例)均可以描述栅格空间到模型空间的对应关系,再加上 GeoDoubleParamsTag(双精度参数)GeoAsciiParamsTag(ASCII 参数)和 GeoKeyDirectoryTag(地理信息目录)提供的信息,就可以得到模型空间的点对应的实际地理位置。

1.2　GeoTIFF 文件格式的操作方法

尽管 GeoTIFF 的扩展方案并不复杂,但要遵循规范用好它绝非易事。一方面是因为 TIFF 格式弹性很大,读写 TIFF 具有一定难度;另一方面还因为 GeoTIFF 定义的地理键非常多,用户自行编码费时费力。GDAL[8] 已经做好了许多基础工作,用户不必从底层起开发。GDAL 是一个在开元协议下由 ER Mapper 资助开发的用于对栅格地理空间数据进行转换的开放库[9],它为应用程序提供所支持的数据格式的单一抽象的数据模型,是一种数据转换和处理的非常有用的通用工具。

为了利用 GeoTIFF 格式数据进行产汇流模拟计算,需要对 GeoTIFF 文件进行两方面的操作:(1) 读取 GeoTIFF 栅格图像数据保存到二维数组中,目的是为了对数据进行分析和计算。(2) 将二维数组中的数据保存到一个新的 GeoTIFF 文件中。即模型运行中产生的中间数据和最终结果仍然以 GeoTIFF 格式保存。在 GDAL 库中主要用到以下 4 类:①GDALDataset,用于访问 GeoTIFF 中波段中的数据;②GDALDriver,GDAL 支持文件种类的类库,可以得到所有支持的文件类型;③GDALMajorObject,用于得到 GeoTIFF 文件中的元数据;④GDALRasterBand,返回 GeoTIFF 文件中包含的波段对象。通过这些类就可以完成对 GeoTIFF 文件的操作。

2　栅格文件的叠合操作

产汇流模拟系统中用到的数据结构主要是以栅格数据为基础的数据形式。栅格数据的行和列表示数据所处的相对位置,栅格数据的每一个像素值(属性数据)代表地理数据的属性,将栅格数据文件按照一定的时间顺序分类存储就可以实现对时态地理数据的支持。

GIS 中的图层叠置分析通常分为矢量图层叠置和栅格图层叠置两种形式。在整个分布式融雪模型中,主要的数据处理和计算是基于栅格数据的叠合计算分析方法的。参与栅格数据叠合计算的两个图层要素均为栅格数据。在栅格数据的叠合算法中,虽然数据存储量比较大,但是运算过程比较简单,非常适合应用于分布式模型的计算中。

常用的栅格数据的叠合计算包括加法(各层上的属性相加得新层上相应点的值)、减法(两层上对应点的属性相减)、乘法(两层上对应点的属性相乘)和除法(两层上对应点的属性相除),此外还有乘方、三角运算、逻辑运算、平方根等运算,也可以是它们的组合。通过以上等栅格运算可以按照模型的要求实现代表各个不同地物的栅格图层的叠加、影响程度、权重等空间分析功能。

3　分布式融雪洪水模型结构和数学物理方程

本文研究分布式融雪洪水模型,系统中所使用的分布式融雪洪水模型来源于国家自然基金项目研究任务"基于'3S'技术的分布式融雪径流模型的设计与应用",子系统分述如下。

3.1　分布式栅格融雪模型

在融雪期,由于融雪洪水过程相对暴雨洪水过程相对平稳,因此在融雪洪水的模拟预测预报工作中,一般可以取计算时段为 15 min 到 1 d 不等,实际中以 30 min 为一个计算时段比较适宜。

考虑到可能遇到的不同情况,本文把模型的计算时段做成可调的参数,即“单元时段”的概念。所谓的“单元时段”,即模型计算过程中的最小时段,而且假设在模型所有与时间维相关的计算中,均是该最小单元的整数倍,因此可以把单元时段设定为1min,这样无论模型计算中时间步长是多大,都将是其整数倍。分布式栅格融雪量模型公式如下:

$$SM_{ij}(t) = a \cdot FTC \cdot \rho_{ij} \cdot \max(0, AT_{ij}(t)) \cdot (1440/\Delta T) \quad (1)$$

式中:a 为经验系数;FTC 表示积雪冻融系数;ρ_{ij} 为栅格积雪密度,g/cm^3,由遥感或者监测推求,如果没有数据带入,取默认值;$AT_{ij}(t)$ 为 t 时段内栅格平均气温,℃;ΔT 为计算时段,取值为分钟数,如计算时段为0.5 h 即取值 30 min,计算时段为 0.25 h 即取值 15 min;$SM_{ij}(t)$ 为 t 时间的栅格融雪量,m;t 为时间,以 min 为单位,一般取整点和半点。a 取默认经验值。

3.2 分布式栅格产流模型

分布式栅格产流模型公式如下:

$$RE_{ij}(t) = (2\Delta T/CSV1_{ij}(t)) \cdot I_{ij}(t) + CSV2_{ij}(t)/CSV1_{ij}(t) \cdot RE_{ij} \cdot (t - \Delta T) \quad (2)$$

式中:$RE_{ij}(t)$ 表示 t 时间的栅格产流量,ΔT 为计算时段,也是以 30 min 为一个时段;CSV_{ij} 表示蓄量系数,即水流通过一个栅格地表所需的时间;$I_{ij}(t)$ 表示 t 时间的栅格地表总输入,单位为 min。对于单元栅格地表总输入 I_{ij} 的计算:

$$I_{ij}(t) = SM_{ij}(t) - SE_{ij}(t) - ET_{ij}(t) \quad (3)$$

式中:$SM_{ij}(t)$ 表示 t 时间的栅格融雪量,m;$SE_{ij}(t)$ 表示 t 时间的栅格融雪下渗量,m;$ET_{ij}(t)$ 表示 t 时间的栅格融雪蒸散发量,m。

3.3 分布式栅格汇流模型

传统的集总式汇流模型无法实现分布式运算,融雪洪水模型出于完全分布式考虑采用了新的算法,在获得每个栅格产流量的基础上进行下面的计算过程,包括:

(1)获取栅格水流流向矩阵(FDM_{ij})。确定流域上各处水流流向的空间分布,这是分布式汇流演算的基础,一般利用数字高程模型来确定流域水流流向,为简单起见,一般假定流域数字高程模型中当前栅格的水流只是朝周围栅格中地势最低的一个流去,这种确定流向的方法称为最陡坡度法。

(2)确定栅格融雪汇流平均流速矩阵(FVM_{ij})。每个栅格的坡度不同,融雪汇流流经栅格的流速也不同,根据栅格的坡度可以计算出每个栅格融雪汇流的平均流速。

(3)确定栅格融雪汇流时间矩阵(FTM_{ij})。时间 t 为汇流沿栅格水流方向流到下一栅格所需的时间,水流路径的长度为两个栅格的中心位置的距离。$t = L/V$,L 的值由流向决定,如果是四周的正方向,取栅格的长度;如果是四周对角线方向,取栅格长度的 $\sqrt{2}$ 倍。V 的值是栅格融雪汇流流速。

(4)确定栅格融雪汇流流向出口断面的时间长度矩阵($FATM_{ij}$)。该矩阵记录每个栅格的汇流量流向出口断面所需时间长度,该时间长度为某一时间段的整数倍。比如多少个 30 分钟该栅格的汇流量可以到达流域的出口断面。该矩阵是计算栅格在任意 t 时间的栅格融雪汇流量矩阵的前提。其计算过程是一个复杂的递归调用过程。

(5)计算 t 时间的栅格融雪汇流量矩阵(FAM_{ij})。根据栅格水流流向、栅格融雪汇流时间、t 时间的栅格融雪产流量这 3 个矩阵与栅格融雪汇流量之间的内在关系,求出 t 时间的栅格融雪汇流量矩阵。该矩阵的计算涉及到大量的空间数据分析和算法调用。获得 t 时间的栅格融雪汇流量矩阵之后,众多的难题诸如确定汇流量阈值生成流域数字水系,该时刻的流域出口断面融雪洪水流量等问题便迎刃而解。

4 干旱区产汇流过程模拟系统的设计与实现

4.1 系统设计思想

本文系统在设计时采用面向对象的思想,将 GeoTIFF 文件的操作封装成类,便于维护管理。在分布式水文模型与 GIS 系统结合过程中也采用了面向对象的思想。本文将分布式水文模型中的要素大气、地表、积雪、径流等抽象成一个个的类,以军塘湖流域的积雪为例,整个军塘湖流域的积雪是积雪类的一个派生对象,具有所有积雪的共性,比如雪深、积雪密度、雪面温度等这些都是对象的属性,而每个单元栅格的积雪又可以看作从军塘湖流域对象继承的子对象,它同样具有父对象的属性和方法,不论是整个流域还是单个单元栅格都具有一样的属性和方法,这样就便于分布式模型的细化和水文要素在空间尺度上的转换。

建立产汇流模拟系统的过程也是 GIS 与流域水文模型结合的过程。GIS 与流域水文模型结合的要求主要有三点:首先,其结构具有明确的物理意义,体现分布式的特点;其次,具有通用性和较大的灵活性,提供对基于栅格的流域水文模型的支持;最后,

要尽可能的简单和便于应用,提供良好的用户界面和快洁的操作环境。

4.2　系统总体结构

本文研究建立的产汇流模拟系统是基于 Microsoft™的 Visual Basic 6 环境开发而成的,其中使用了包括 VBScript、MS Xml 等技术的使用。Visual Basic[10]具有易于开发、图形界面开发速度快、易于调试和维护等优点。系统的结构如图 1 所示。

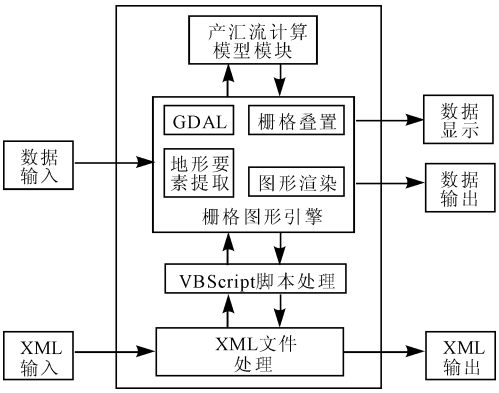


图 1　系统结构

栅格图形引擎负责数据文件的读取、存储和显示功能,VBScript 脚本处理[11]的功能是进行模型的调试、运行和验证,MS Xml 文件处理将 VBScript 生成的模型存储为 Xml 格式和将以 Xml 存储的模型读入到系统中来,同时对系统和模型的参数的存储和操作予以支持。产汇流计算模型模块是分布式产汇流模型的计算机实现,是分布式水文模型与 GIS 结合的部分。通过 VBScript 脚本处理对 VBScript 等脚本语言进行解析、执行,系统就可以动态生成脚本程序进行运算从而实现模型的调试功能而且方便新模型的建立和旧模型的修改、参数的调试。

4.3　系统运行过程及系统主要功能

本系统的运行过程的是依据时间序列的顺序而进行的,如图 2。首先系统初始化,包括对参数的读取、数据的准备、内存的分配等,然后将所需数据代入栅格融雪模型并运用叠置分析方法计算出每一个栅格的融雪量,接着调用栅格产流模型计算出每一个栅格的融雪产流量,继续调用栅格汇流模型并应用地形要素处理模块计算出的流向、坡度等数据进行汇流的计算,最后显示本时段计算的结果并返回进行下一时段的计算。系统建立时考虑到了模拟过程可视化的重要性,每一步的模型计算都可以实时显示,同时也考虑到了分布式模型的特点,在模拟过程中每一个栅格的数据都可以用图表曲线实时输出,这些功能极大的加强了系统使用者对模拟过程的监测且更易于使用。

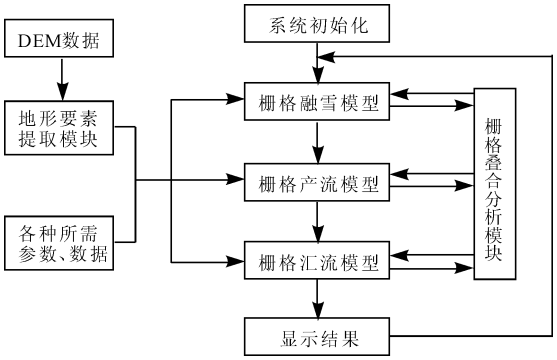


图 2　系统运行过程

干旱区产汇流过程模拟系统的主要功能包括①显示部分:栅格数据的读取显示、缩放、平移、全屏、颜色调整、刷新、属性显示;②模型工具部分:栅格融雪模型、栅格产流模型、栅格汇流模型、自定义模型调试器;③DEM 工具部分:填洼、坡度、坡向、流向、等流时线、累积流量;④模型和系统参数的 XML 文件格式的存储、模拟曲线数据的导出。系统功能的设计尽量做到实用简便、一目了然。

5　系统的应用实例

5.1　系统模拟应用

利用本文建立的干旱区产汇流过程模拟系统对新疆军塘湖流域自 2006 年 3 月 5 日到 2006 年 3 月 11 日的(由于实测数据质量的问题,此处仅以 06 年春季实测数据为例)融雪径流进行了产汇流模拟。系统需要的输入数据包括如下:2006 年 3 月 5 日 0 时到 2006 年 3 月 11 日 23 时 30 分每间隔半小时的流域气温数据;2006 年 3 月 5 日的流域积雪深度数据、流域的 DEM 数据、地表植被覆盖数据、流域风速数据。常量数据,包括积雪密度、蒸散发系数、流速系数、栅格边长等。

以上数据中除常量数据外其余数据都是空间栅格数据。对于种种原因无法获取空间栅格数据的系统还提供了用常量数据替换的功能。

军塘湖流域产汇流模拟的过程如下:

进行系统参数设置,包括计算时段、计算开始时刻、空间数据输入路径、计算结果保存路径和空值。在填洼程序界面中设置输入原始 DEM 数据和填洼处理后的输出数据路径,进行计算后就得到了无洼地和平地的 DEM 数据。在坡度坡向程序界面中设置经过填洼处理过的 DEM 数据和坡度坡向的输出路径,进行计算后就可以得到流域的坡度和坡向。在流向程序界面中设置经过填洼处理过的 DEM 数据和流向输

出路径,计算完毕后就可以得到流域的流向数据。在汇流时间程序界面中设置流域流向数据和汇流时间的输出路径,汇流时间数据反映了流域的汇流速度。在累积流向程序界面中设置流域流向数据的输入和累积流量数据的输出,得到的结果是流域水系的理论值。在栅格产流模型界面中设置空间栅格数据和常量数据并将实时显示选项选中,模拟计算中的融雪过程用到的参数集中到此界面输入。在栅格汇流模型界面中设置汇流过程中用到的空间和常量数据,将实时显示选项选中在模拟过程中可以动态产看结果。在栅格汇流模型中设个所需的数据,然后确定退出。进入时间控制界面,点击 开始模拟过程,点击 暂停模拟过程,点击 结束模拟过程。

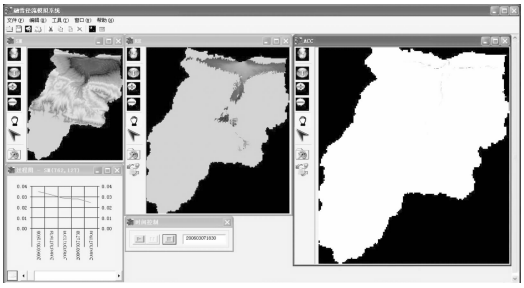


图 3 系统在 200603071830 时刻的截图



图 4 系统在 200603081830 时刻的截图

在图 3 中,SM 子窗口显示此时的情况,RE 子窗口显示的是此时刻流域产流的情况,ACC 子窗口反映次时刻流域汇流的情况,过程图子窗口的折线图表反映的是序号为(762,127)的单元栅格在此时刻的融雪量曲线。从图 4 中可看出,流域的融雪面积和产流面积明显增加,汇流量增多,序号为(762,127)的单元栅格的融雪量曲线随着时间发生相应的变化。

5.2 模拟结果分析

通过流域出口点的模拟流量和实测流量对比图(见图 5)可以看出,该分布式融雪径流模型的模拟效果较好,具有以下特点。

(1)从洪水过程的拟合来看,模型得到的模拟流量过程线与实测流量过程线保持高度一致的变化趋势,在典型融雪期内的模拟效果可以说比较理想。

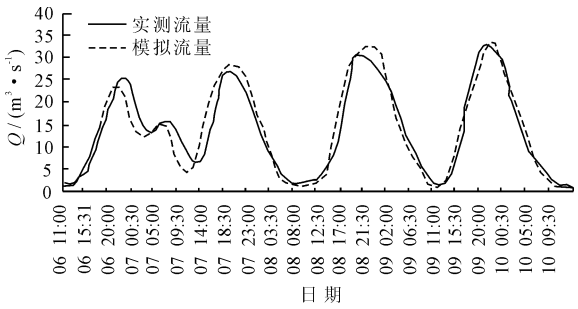


图 5 模拟流量和实测流量对比图(2006 年 3 月)

(2)对于洪水洪峰即最大流量的模拟,融雪前期的模拟结果偏低,但是后期比较精确,总的来说精度较高,这为洪水的预警和预报提供了足够的保障,具有重要的现实意义。

(3)从峰现时间来看,融雪前期的模拟结果偏前,但是在融雪高峰期的绝大部分时间内,该模型的模拟结果比较精确。

(4)由模拟流量和实测流量的对比可以得出,对于典型洪水即流量较大时的流量模拟具有较高的精度,一般相对误差都在 10% 甚至 5% 以下,而对于较小流量如流量小于 5 m^3/s 时,往往具有较大的误差。但是从总体来说误差在 18.27% 左右,即精度在 81.73% 左右。如果再将前期峰现时间予以调试提高,模拟精度将大大提高,将肯定超过 90%,模型进一步优化工作正在进行之中。

6 结 语

干旱区产汇流过程模拟系统的初步研究对运用 GIS 技术和理论对干旱区的产汇流过程进行研究,其中也对融雪过程进行了模拟。GIS 技术和分布式水文模型的结合是分布式水文模型发展的前沿领域,计算机硬件和软件的应用加快了水文模型向多因素综合、高分辨率、大范围的研究方向的发展,使水文研究领域特别是分布式水文模型的研究和应用更加细致广泛,精度更高效果更好。本文系统的建立和应用是 GIS 技术和分布式水文模型的结合的一个实例,同时也是分布式水文模型和 GIS 技术在新疆小流域的一次实际应用。本文对基于 DEM 的流域水文要素提取算法、GeoTIFF 文件格式的处理、分布式水文模型的实现技术等进行了研究,采用面向对象和模块化的编程规范使系统的稳定性和效率得到一定的保障。通过研究,得出如下结论:

(1) GIS 技术与分布式水文模型的结合扩展了 GIS 技术的研究领域和分布式水文模型的研究方法,

(下转第 47 页)

5 结　语

本文通过对污泥进行微波处理后,研制了一种由污泥、天然沸石和水泥组成的低能耗环保合成材料。结果表明,当合成材料中水泥、天然沸石和污泥的质量比为 1∶2∶0.05,水灰比为 0.4,发泡剂∶水体积比为 1∶60 时,合成材料具有良好的耐水性,且 7d 的抗压强度为 5.8MPa,满足目前生态混凝土河道驳岸等示范工程的要求。合成材料对氨氮和总磷的吸附,均可较好地用准二级动力学模型拟合,具有良好的相关性,平衡吸附量分别为 50、83.5 mg/kg。因此,利用微波处理后污泥制备低能耗环保合成材料,既可解决污泥的出路问题,又可对微污染水体中的氮、磷进行吸附,这为污泥资源化提供了新的途径。

参考文献:

[1] 池勇志, 迟季平, 马 颜,等. 城镇污水污泥性质与处理处置概况[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12F):168 – 172.

[2] JI Zhiyong, YUAN Junsheng, LI Xingang. Removal of ammonium from wastewater using calcium form clinoptilolite [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 141(3):483 – 488.

[3] Zhang Daofang, Li Kun, Cheng Haijing, et al. Utilization of dyeing treatment plant sludge as brick materials [C]. Environmental Science and Technology, American Science Press, Houston, USA, 2008.7, 1:91 – 96.

[4] 许智华, 张道方, 石朝斌, 等. 新型合成材料及其脱氮除磷实验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(4):50 – 53, 60.

[5] 方 琳, 田 禹, 黄君礼,等. 微波干燥污泥重金属及有机物固定化机理研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(10):1591 – 1595.

[6] 吴智仁, 陆春华, 刘荣桂,等. 现浇护堤植生型生态混凝土性能指标及耐久性能[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2005, 26(5):380 – 383.

[7] 倪海满, 左 芬, 申立宏. 绿色混凝土生态防护技术在岩质边坡中的应用[J]. 路基工程, 2008(5):179 – 180.

[8] 张朝辉. 多孔植被混凝土研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006.

(上接第 42 页)

也极大的丰富了流域水文模型研究和数字流域的建立的内容。

(2) 系统使用 GeoTIFF 格式为主要的数据格式 GeoTIFF 格式具有通用性高、兼容性好、支持多种压缩格式和易于操作等特点. 本文将 GeoTIFF 格式引入产汇流模拟系统并研究了操作方法,使得系统的稳定性和效率大大加强。

(3) 利用空间分析的方法实现产汇流模拟在任意时间流域内任意地点的汇流量和汇流累积量的计算,并能够动态的显示计算结果,实现了水文模型计算的可视化。

(4) 干旱区产汇流过程模拟系统在新疆军塘湖流域的实际模拟应用,并得到较好的模拟结果,为新疆地方的冰雪水资源总量决策管理和融雪性洪水预警提供了参考依据,并对以后我们建立水文模型平台和水文模型的调试提供了一些借鉴经验。

参考文献:

[1] 刘昌明,夏 军,郭生练,等. 黄河流域分布式水文模型初步研究与进展[J]. 水科学进展,2004,15(4):495 – 500.

[2] 蓝永超,曾群柱. 河西地区融雪径流的灰色预测方法[J]. 冰川冻土,1997,19(2):154 – 160.

[3] 刘凤景,Williams Mark,程国栋,等. 天山乌鲁木齐河融雪和河川径流的水文化学过程[J]. 冰川冻土,1999,21(3):213 – 219.

[4] 王 建,李文君. 中国西部大尺度流域建立分带式融雪径流模拟模型[J]. 冰川冻土, 1999,21(3):264 – 268.

[5] 冯学智,李文君,史正涛,等. 卫星雪盖监测与玛纳斯河融雪径流模拟[J]. 遥感技术与应用, 2000(1):18 – 21.

[6] 王 建. 基于遥感与地理信息系统的 SRM 融雪径流模型在 Alps 山区流域的应用[J]. 冰川冻土, 2001,23(4):436 – 441.

[7] 俞鑫颖,刘新仁. 分布式冰雪融水雨水混合水文模型[J]. 河海大学学报, 2002,30(5):23 – 27.

[8] 张宏伟,童恒建. 基于 GDAL 大于 2G 遥感图像的快速浏览[J]. 计算机工程与应用,2011,47(7):1 – 6.

[9] Gdal developer oriented documentation[EB/OL]. [2010-09-15]. http://www.gdal.org.

[10] 吕晓辉,胡正国,吴 健. VB 设计模式探析[J]. 计算机应用,2003,23(8):105 – 107.

[11] 裘绍翔,荣 冈. 脚本支持在实时数据库设计中的应用研究[J]. 计算机应用研究,2004,21(8):30 – 32.