

地表水与地下水耦合模型研究进展

凌敏华 陈 喜 程勤波 魏玲娜 张志才

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098)

摘要 描述地表水与地下水文过程耦合概念 ,论述国内外具有代表性的流域水文模型与地下水模型耦合的 3 种类型及耦合方法 ,提出地表水与地下水耦合模型的主要特征及适应性 ,并对今后的发展方向进行了展望。

关键词 地表水 ;地下水 ;耦合模型 ;综述

中图分类号 :P333 ;TV11 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)04-0079-06

Advances in coupled surface water and groundwater models//LING Min-hua , CHEN Xi , CHENG Qin-bo , WEI Lin-na , ZHANG Zhi-cai (*State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China*)

Abstract :The concept of coupled hydrological process of surface water and groundwater was described. Three types of worldwide representative models coupling the surface water with the groundwater and their coupling methods were analyzed. The main features and applicability of the coupled surface water and groundwater models are proposed. The future research directions of the coupled hydrological models were prospected.

Key words :surface water ; groundwater ; coupled model ; review

陆面蒸散发、河道水流等地表水文过程和地下水在一定地形、地质、气候条件下是相互作用、具有内在联系的有机整体^[1]。然而长期以来 ,利用水文模型模拟复杂的水文循环系统时 ,由于观测资料的缺失或所关注问题的侧重点不同 ,模型构建侧重于水文过程的某些方面 ,对其他过程过于简化甚至忽略 ,导致了水文系统不完整 ,可能引起系统偏差。如从陆地水文学角度建立的地表水模型主要侧重于近地表水文过程 ,对地下水过程一般简化为线性水库演算方法 ,只考虑进入含水层的水量而未考虑地下水对土壤水传输及对地表水的作用。从水文地质学角度建立的地下水模型 ,一般只考虑饱和带水流和赋存作用 ,对降雨入渗过程采取简化处理 ,未考虑非饱和带土壤水与地下水之间的动态联系 ,也缺乏对降雨-径流这一重要水文过程的模拟。

Freeze 等^[2]于 1969 年首次提出了基于物理机制的地表地下水流耦合理论体系。近年来 ,随着对变化环境下(气候及下垫面变化)水文响应及水资源演变规律研究的重视 ,大气降水-土壤水-地表水-地下水之间转化与反馈作用研究显得尤为重要。随着遥

感、地理信息系统等现代信息技术、计算机模拟技术及水文四维化观测手段的发展 ,建立更复杂的水文全过程模拟系统 ,客观描述水文循环过程成为可能。因此 ,为更精确模拟水文循环过程 ,反映水循环过程各要素之间的动态联系 ,把地表水文过程与地下水动力过程相耦合 ,建立了一系列地表水与地下水耦合模型 ,对于水资源精确评价、区域水资源开发利用和综合管理以及生态环境保护具有重要的意义。

1 地表水与地下水耦合模型及耦合方法

降水落于地表后的侧向及垂向运动受陆面地形、地貌、植被、土壤质地等影响 ,入渗、蒸散发、径流等水文过程受控于土壤非饱和带、饱和带及地表水体。由于水分在非饱和带、饱和带及地表水体中运动及转化特征的差异 ,通常先对这 3 个部分单独定量描述 ,再耦合形成水文模型系统。

胡立堂等^[3]从河流水动力过程与地下水动力过程的耦合 ,把地表水与地下水耦合模型分为地表水模型包容地下水模块、地下水模型包容地表水模块以及地表水和地下水模型双向兼容型。王蕊等^[4]根

据耦合紧密性将地表地下水耦合模型分为松散耦合型、半松散耦合型和紧密耦合型。本文进一步从流域尺度上分析陆面水文过程与地下水动力过程耦合模拟方法。从目前水文模型对水文动力过程描述的发展趋势来看,地表水与地下水耦合模型的发展可归纳为以下3种途径:①在地表水文模型基础上,扩展地下水动力模拟功能,代表性的有雨洪径流模型 HSPF^[5] 扩展到与地下水数值模型 MODFLOW^[6] 相耦合的水文全过程模拟模型 IHM^[7]。②在地下水数值模型基础上,扩展地表水及土壤水模拟及其相互作用功能,如在 MODFLOW 基础上扩展的非饱和入渗计算模型 MODFLOW-UZF^[8]。③建立地表、地下水物理过程全耦合模型,如 MODHMS^[9]、HydroGeoSphere^[10]等模型。前2种途径主要是通过连接一些已开发、成熟的地表水文模型和地下水数值模型,或在已有地表水、地下水模型基础上完善其余水循环要素,建立能描述水文全要素的流域/区域水文模型系统,该类模型还有 SWATMOD^[11]、GSFLOW^[12]等模型。

从地表地下水文过程相互作用来看,地表水与地下水耦合模型可分为:①外部耦合。各子系统按一定顺序单独进行求解,系统之间只进行单向传输,如子系统 A 为子系统 B 提供边界条件和输入,但是子系统 B 对子系统 A 无反馈作用,反之亦然。在1个计算时段内,一般先求解地表水模型,其结果作为地下水模型的输入和边界条件,然后对地下水模型进行求解,求解结果作为下一个计算时段求解地表水模型的输入和边界条件。该类模型具有较高的计算效率,但是在地表水与地下水频繁作用、相互影响的地区计算结果会有较大误差,代表性模型有 IHM、SWATMOD、GSFLOW 等。②迭代耦合。在1个计算时段内,各子系统按一定顺序单独求解,但系统之间进行双向传输,也就是子系统之间相互提供边界条件和输入,直到各子系统同时满足某个收敛标准后才结束求解,代表性模型有 MODHMS、WASH123D^[13]等。③完全耦合。从水文循环物理过程出发,在1个系统内同时求解各水文过程控制方程,形成水文过程模拟矩阵的数值解,通过水文状态(如土壤含水量、入渗率)识别饱和、非饱和水流及地表水流(坡面流、河流)水分交换及动态变化过程。该类模型能更客观地描述水循环动力过程及水分转化关系,但受流域空间异质性导致的水文过程尺度效应影响,模型求解及参数确定较为困难,应用在大流域尺度上存在不确定性,MODHMS、HydroGeoSphere、INhm^[14]、PIHM^[15]等模型都属于此类模型。

不同水文过程耦合存在时空尺度匹配问题。在时间尺度方面,地表水文过程利用明渠圣维南原理的连续性和动力波方程进行描述,一般采用的时间步长较短(日、小时或小时以内)。由于地下水流动缓慢,地下水过程模拟一般采用较长计算时间步长(日、周或月)。在模型计算空间尺度方面,地表与地下水文过程存在空间离散不相容的问题,如概念性水文模型通常采用子流域划分方法,而地下水模拟一般采用网格型数值计算方法。

2 地表水文模型扩展地下水动力过程

概念性地表水文模型(如新安江模型、HSPF 模型等)主要应用于描述降雨产生的流域出口断面洪水过程,广泛应用于流域产汇流计算及洪水预报。这类模型在土壤水分层蒸散发、地表径流、河道汇流计算等方面取得了丰富的实践经验,也广泛应用于河川径流模拟及水资源评价中。但由于这类水文模型对饱和含水层水动力过程的简化以及缺少对河流、湖泊、湿地等地表水体与地下水相互作用物理过程的定量描述,模型不适用于地下水动力过程模拟,也不能用于分析地下水开采等对地表水的影响,因此在一些以地下水为主的流域应用存在较大限制。为此,近年来国内外一些学者通过扩展这些流域水文模型的地下水模拟功能,发展以 IHM、SWATMOD、GSFLOW、ECOFLOW^[16]等为代表的流域地表地下水文过程耦合模型。

IHM 模型是在 FHM 模型^[17]和 ICSW 模型^[18]基础上改进形成的,动态连接了 HSPF 模型与 MODFLOW 模型。地下水位为 HSPF 模型与 MODFLOW 模型的动态分界线,也是两者动态耦合的边界条件。通过中间耦合程序包实现 HSPF 模型与 MODFLOW 模型空间与时间上的耦合联系。在空间上,以 HSPF 模型结构进行子流域及土地利用单元划分,地下水数值模型 MODFLOW 模型则离散为中心有限差分规则网格,因此当两者耦合时,HSPF 模型子流域的模拟结果分配到子流域内的每一个 MODFLOW 模型网格上,而 MODFLOW 模型网格计算结果根据子流域内的土地利用单元进行重新组织,为 HSPF 模型所用。在时间尺度上,由于 HSPF 模型短时段(小时、日)与 MODFLOW 模型长时段(多日、月)的时间尺度不同,IHM 模型采用滞后演算法进行耦合,在一个耦合时段内(MODFLOW 模型一个应力期长度),IHM 模型中间程序包在每个耦合时段内,HSPF 模型计算结果累加作为当前 MODFLOW 模型的输入(如地下水补给量),而 MODFLOW 模型运算结果则分割成适当时段,作为下一耦合时段 HSPF

模型的输入和边界。IHM 模型既可模拟单一水文过程,又可模拟地表、地下相耦合的水文过程。

SWATMOD 模型是在连接 SWAT 与 MODFLOW 模型的基础上形成的。SWAT 模型模拟覆被层、土壤层、池塘、水库的水分运动,MODFLOW 模型模拟饱和带水流运动、河流与含水层的相互作用。SWAT 模型采用的时间步长为 1 d,MODFLOW 模型采用的时间步长为 1 个月,两者基于 MODFLOW 模型计算时间步长进行耦合,采用时间滞后方法在 SWAT 模型与 MODFLOW 模型之间进行数据尺度转换。SWATMOD 模型运行时,依次运行 SWAT 模型和 MODFLOW 模型,可用于模拟长期地表水、地下水相互作用及地下水开采对水文循环影响。但该模型未考虑植物根系层以下的非饱和带水分运动过程,所以计算的降水入渗补给量不通过渗漏作用而是直接进入饱和地下水。

ECOFLOW 模型动态连接了分布式的 ECOMAG 和 MODFLOW 模型,包含地表坡面流、分层土壤水计算及融雪过程等,ECOMAG 模型计算土壤非饱和带与地表水流过程,MODFLOW 模型计算饱和带水流运动及河流与含水层作用,耦合方法采用与 IHM 模型一样的滞后算法。模型在空间上离散为规则单元网格,每个单元网格在垂向上分为数层:寒冷时期的积雪层、地表层、2 个土层(上层 A,下层 B-MODFLOW 层)。ECOFLOW 模型具有灵活的模型尺度,与 MIKE-SHE 等模型相比,可以采用更短的模拟时段且无需详细的区域观测资料,可用于研究流域内地表水与地下水之间的相互关系,并在此基础上确定用水管理策略,研究人类活动对地下水的影响。

郝振纯^[19]将新安江流域模型与二维地下水动力学模型耦合作为水资源系统评价模型,在新安江水文模型中增加了地下潜流结构,并利用改进后的新安江模型计算山区地下潜流,计算出的山区地下潜流作为盆地地区地下水动力模型的边界入流量之一,然后运用地下水动力模型,以地下水位动态模拟与实测过程比较来检验山区地下潜流计算的正确性和山区水文模型参数的适用性。

3 地下水模型扩展地表水文过程

以含水层水动力方程数值求解建立的地下水模型,主要用于分析地下水的动态时空变化及受降雨、河流入渗补给、地下水开采、潜水蒸散发等外应力的影响。在地下水数值模型中,这些外应力作为源汇项进行简化处理,不能描述土壤水、地表水等动态变化及地下水变化对这些水文循环要素的影响。近年来,在地下水数值模型基础上扩展地表水模拟功能,

以研究地表水与地下水相互作用及降雨入渗补给、潜水蒸发等水文过程。代表性模型有 MODFLOW 基础上发展起来的 MODFLOW-UZF1 模型^[8]和 MODBRANCH 模型^[20]等。

MODFLOW 模型在饱和地下水数值模拟基础上,不断扩大其水文要素模拟功能,其模块化结构设计和开放式源代码便于功能的扩展。MODFLOW 模型 96 版本包括河流模块 RIV、蒸散发模块 EVP、入渗补给模块 RCH 等。MODFLOW 模型 2000 版本中增加了湖泊程序包、河道演算程序包 SFR2 等。在 2003 年的修订版中,增加了河流水动力模块 DAFLOW,可应用于一维固定河道宽度、基本无地表水滞留的地表水流量和地下水动态分析^[21]。MODFLOW 模型 2005 版本中进一步增加了非饱和带土壤水运动模拟软件包 UZF1^[8],实现地下水与土壤水、地表水之间的水力联系及模型耦合。

MODBRANCH 模型进一步把一维明渠非稳定流模型 BRANCH 与 MODFLOW 相耦合。BRANCH 模型根据 MODFLOW 模型中 1 个地下水时间步长河网结点的地下水头始末值,内插到 BRANCH 模型中各个时间段中,地表水和地下水的交换量(基流量)则根据达西定律进行计算。在 1 个地下水计算时间步长内,累积各个地表水时间步长的基流量,最后赋给地下水的相关单元^[3]。

陈喜等^[22]在 MODFLOW 模型的基础上,考虑植被、非饱和层与饱和层界面水量交换的物理过程,采用超渗产流和饱和地面流相结合的混合产流模式,建立了平原区降水-土壤水-地表水-地下水“四水”转换模型,模拟“四水”之间转化量及水文过程动态变化。张奇^[23]在基于 MODFLOW 模型的基础上研制了湖泊集水域的水流模型,该模型考虑了湖泊流域系统的特点,并将地表径流、地下径流和湖泊水体三者的相互作用加以完整统一模拟,模型主要特点是可进行地下水运动的真实模拟,并将地下水自由面的时空变化反馈到土壤蓄水量和产流量的计算中,实现了地表-地下径流的实时耦合。武强等^[24-25]利用河流一维明渠非恒定渐变流与地下水模拟三维非稳定流运动方程,建立了地表河网与地下水水流系统耦合模型,模型基础是河水与潜水含水层之间的交换水量,采用迭代法求解耦合模型,并应用到黑河流域下游水资源合理开发利用评价中。

4 流域水文物理过程全耦合模型

该类模型一般利用水动力学瞬变偏微分方程组数值计算描述地表、地下水文过程,包括一维或二维坡面流,一维、二维或三维非饱和带流,二维或三维饱

和带流,一维河道流等,采用诸如有限差分、有限单元、有限体积、有限控制体积等方法求解控制方程,研发了 MIKE-SHE^[26-27],MODHMS^[11-28],INhm^[14-29],HydroGeoSphere^[12],PIHM^[15]和 WASH123D^[13]等模型。

MIKE-SHE 系列模型是在 SHE 模型基础上发展起来的一个综合性分布式水文物理模型,可模拟水文循环中的水流运动、水质和泥沙运移等所有重要的陆相过程。MIKE-SHE 模型采用有限差分方法求解地表、地下水流运动方程。为提高模型运算效率,可依据研究实际需要选择每一水文过程的简单或高级描述,如可选取水库演算方法模拟土壤非饱和与饱和带水流运动。MIKE-SHE 模型的模块化设计结构增强了模型运用的灵活性。

MODHMS 模型基于全隐式有限差分法实现地表地下水流、水质数值计算及过程完全耦合,其计算程序是基于 MODFLOW 模型架构开发的,在空间上以矩形网格进行离散,可以模拟从区域到局部的多个空间尺度。可根据实际项目需要设定时间步长,可依据模拟目标和地域特性灵活选取完全耦合、迭代耦合或连接(滞后算法)模拟方法。MODHMS 模型可用于供水管理情景模拟、洪水控制、河流分析及湿地恢复等,但缺乏对水量平衡有重要影响的灌溉水模拟,因此模型应用在灌溉水量比重大的流域会受到限制。

HydroGeoSphere 模型是基于控制体有限单元法开发的地表地下水流、水质完全耦合的分布式水文物理模型,其地下水流模块是基于 Waterloo 和 Laval 大学联合开发的三维高效的地下水流及溶质运移代码 FRAC3DVS,地表水流模块则是基于 MODHMS 模型的地表水流计算模块。模型采用自适应时间步长,在每个计算时间步长内,同时解地表、地下水流运动方程和溶质运移方程,并提供完整的水量平衡和溶质均衡计算结果。

INhm 模型是开源的(Fortran 源代码),地表地下水流与溶质运移过程完全耦合的分布式水文物理模型。INhm 模型使用 2D 扩散波方程描述浅地表水坡面流过程,3DRichard 方程描述地下可变饱和和多孔介质和大孔隙流、水平-扩散方程描述地表水和地下溶质运移过程。模型采用模块化设计和高效离散算法技术。使用控制体有限单元法进行空间离散,形成水流和溶质运移控制方程离散方程组后同时求解,实现地表、地下水流与溶质运移过程耦合。

PIHM 模型是基于有限体积法的多过程、多尺度的分布式水文物理模型。针对水文过程控制方程中偏微分方程组和常微分方程组合问题,模型采用半离散有限体积法在空间上将偏微分方程组离散为

常微分方程组,由此形成一个局部常微分方程系统(称为 model kernel)。kernel 分布在一个非结构三角不规则网,连接整个区域的所有局部常微分方程组,形成全局常微分方程系统,然后通过一个高效的求解器同时求解全局常微分方程系统。

贾仰文等^[30]开发了 WEP 分布式水文模型,根据降雨强度采用 Green-Ampt 或 Richards 方程计算地表产流,基于运动波计算坡面流,基于二维数值计算模拟壤中流、浅层地下水运动以及浅层地下水与河水的动态耦合等。经过模型开发者多年改进和完善,已经在多个流域得到验证和应用,该模型对水循环系统各要素都进行了模拟。刘昌明等^[31]以国产组件式 GIS 软件 SuperMap 为支撑,基于模块化结构设计,开发了独具特色的分布式水文模拟系统 HIMS,集成了 3 种不同时空尺度的分布式水文模型。HIMS 系统以类定义为基础,构建了水文模型方法库,在方法库中封装了 40 多个水文过程模拟计算方法,涉及水文变量 400 多个。

5 结论及展望

构造合理、功能强大的地表水与地下水耦合模型是分析水文过程的强有力工具。开发一个成熟的水文模型需要花费大量的时间、财力及人力。从国内外已开发的一些通用性较强、耦合方法比较完整的模型来看,地表水与地下水耦合模型应具有以下特征:①具有模拟所有重要水文过程及其相互作用的功能,可进行短期和长期模拟。②模型参数和输入、输出灵活且时空可变。③合理的模型求解算法。运行耦合模型时需要花费大量的时间,使用并行计算处理是减少运行时间的有效方法之一,如 WASH123D 模型的并行运算程序^[32]。④具有良好的前处理、后处理及与 GIS 集成功能,GIS 是进行模型设计、模拟结果分析的强有力工具,模型应具有基于 GIS 的数据输入、管理和操作等功能,如 MIKESHE 模型。⑤灵活、模块化程序设计,具有一定的可扩展性,如 MODFLOW 模型已被 IHM、SWATMOD 等多个模型耦合集成。⑥便于实现复杂系统模型的参数率定与模型检验。模型应具有参数反演及灵敏性分析功能,可运用随机方法进行参数时空不确定性、输入输出的不确定性分析。⑦易于移植。可运行于 UNIX、Windows 和 Linux 等多个操作平台。⑧易于使用。具有友好的图形界面,良好的用户使用手册、服务和支持,缺乏好的技术支持会明显增加用户学习使用模型的时间。

与单一的地下水或地表水模型相比,地表水与地下水耦合模型结构更为复杂,且由于引入了更多

参数 模型参数率定将更为困难 ,应加强地表水与地下水耦合模拟中参数的确定和模型的验证工作^[33]。除常规水文观测资料外 ,需要增加地表水与地下水动态观测资料 ,并结合水文试验等手段 ,才能实现模型可靠的运行与分析计算。计算机和并行技术的快速发展大幅度减少了模型运行时间 ,高速发展的信息技术(3S 技术)提供更多能描述水文过程时空变化的数据 ,使模型参数化分析和增强模型应用的可靠性成为可能。随着经济和社会的发展 ,人类对有限的水资源的需求日益增加 ,建立具有基于物理机制、地表地下水文过程完全耦合、可以模拟水循环中各水文过程及其相互作用的水文模型是今后的研究方向 ,将为水资源综合管理提供强有力的支撑。

参考文献：

[1] WINTER T C , HARVEY J W , FRANKE O L , et al. Groundwater and surface water a single resource[R]. Reston : USA Geological Survey ,1998.

[2] FREEZE R A , HARLAN R L. Blue-print for a physically-based digitally simulated hydrologic response model[J]. Journal of Hydrology ,1969 9 237-58.

[3] 胡立堂 ,王忠静 ,赵建世 ,等.地表水和地下水相互作用及集成模型研究[J]. 水利学报 2007 38(1) 54-59.

[4] 王蕊 ,王中根 ,夏军.地表水和地下水耦合模型研究进展[J]. 地理科学进展 2008 27(4) 37-41.

[5] BICKNELL B R , IMHOFF J C , KITTLE J L Jr , et al. Hydrological simulation program-fortran manual for release 12.[R]. Athens :Environmental Protection Agency 2005.

[6] MCDONALD M G , HARBAUGH A W. A modular three dimensional finitedifference groundwater flow model[M]. Reston :U S Geological Survey ,USGS ,1988.

[7] ROSS M , GEURINK J , ALY A , et al. Integrated hydrologic mode(IHM) volume I :theory manua[R]. Florid :Tampa Bay Water and Southwest Florida Water Management District , 2004.

[8] NISWONGER R G , PRUDIC D E , REGAN R S. Documentation of the unsaturated-zone flow (UZF1) package for modeling unsaturated flow between the land surface and the water table with MODFLOW-2005 [R]. Reston : U S Geological Survey 2006.

[9] PANDAY S , HUYAKOM P S. A fully coupled physically-based spatially-distributed model for evaluating surface/subsurface flow[J]. Advances in Water Resources 2004 27 361-382.

[10] THERRIEN R , MCLAREN R G , SUDICKY E A , et al. HydroGeoSphere : a three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport[R]. Waterloo : University of Waterloo 2009.

[11] SOPHOCLEOUS M A , KOELIKERB J K , GOVINDARAJUC R S , et al. Integrated numerical modeling

for basin-wide water management : the case of the rattlesnake creek basin in south-central kansa[J]. Journal of Hydrology , 1999 , 214 :179-196.

[12] MARKSTROM S L , NISWONGER R G , REGAN R S , et al. GSFLOW—coupled groundwater and surface water flow model based on the integration of the precipitation-runoff modeling system(PRMS) and the odular groundwater flow model (MODFLOW-2005) [R]. Reston :U S Geological Survey , 2008.

[13] YEH G T , HUANG G B , ZHANG F , et al. WASH123D : a numerical model of flow , thermal transport , and salinity , sediment and water quality transport in watershed systems of 1-D stream-river network , 2-D overland regime , and 3-D subsurface media[R]. Washington ,DC :U S Environmental Protection Agency , 2005.

[14] VANDERKWAAK J E , LOAGUE K. Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model[J]. Water Resources Research ,2001 , 37 999-1013.

[15] QU Y Z. An integrated hydrologic model for multi-process simulation using semi-discrete finite volume approach [D]. USA :Pennsylvania State University 2004.

[16] NIKOLAY S. The integrated distributed hydrological model , ECOFLOW : a tool for catchment management [R]. Stockholm :Land and Water Resources Engineering of KTH , 2005.

[17] ROSS M A , TARA P D , GEURINK J S , et al. FIPR hydrologic model users manual and technical documentation [R]. Tampa : University of South Florida ,1997.

[18] ROSS M , GEURINK J , SAID A , et al. Evapotranspiration conceptualization in the HSPF-modflow integrated model[J]. Journal of the American Water Resources Association ,2005 , 41(5) :1013-1025.

[19] 郝振纯.地表水地下水耦合模型在水资源评价中的应用研究[J]. 水文地质工程地质 1999 ,19(6) :18-22.

[20] SWAIN E D , WEXLER E J. A coupled surface water and groundwater flow model (MODBRANCH) for simulation of stream-aquifer interaction[R]. Reston :U S Geological Survey , 1999.

[21] JOBSON H E , HARBAUGH A W. Modifications to the diffusion analogy surface water flow model (DAFLOW) for coupling to the modular finite-difference groundwater flow model(MODFLOW) [R]. Reston :U S Geological Survey , 1999.

[22] CHEN Xi , CHEN Y D , ZHANG Zhi-cai. A numerical modeling system of the hydrological cycle for estimation of waterfluxes in the huaihe river plain region , China [J]. Journal of Hydrometeorology-Special Section 2007 8 :702-714.

[23] 张奇 .湖泊集水域地表-地下径流联合模拟[J]. 地理科学进展 2007 26(5) :1-9.

[24] 武强 ,孔庆友 ,张自忠 ,等.地表河网-地下水系统耦合

模拟Ⅰ 模型[J].水利学报 2005 36(5):588-592.

[25] 武强,孔庆友,张自忠,等.地表河网-地下水系统耦合模拟Ⅱ 应用实例[J].水利学报 2005 36(6):754-758.

[26] THOMPSON J R, SØRENSEN H R, GAVIN H, et al. Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modeling system to a lowland wet grassland in southeast England[J]. Journal of Hydrology, 2004, 293 :151-179.

[27] DHI INC. MIKE SHE user manual volume 2 : reference guide [R]. Agerø : DHI INC 2008.

[28] HYDROGEOLOGIC ,INC. MOHMS software (version 3.0) documentation volume Ⅰ : groundwater flow modules[R]. Hemdon :HYDROGEOLOGIC INC 2006.

[29] VANDERKWAAK J E, LOAGUE K. Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model[J]. Water Resources Research, 2001, 37 : 999-1013.

[30] 贾仰文,王浩,倪广恒,等.分布式流域水文模型原理与实践[M].北京 :中国水利水电出版社 2005 :10-13.

[31] 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(7):495-500.

[32] CHENG J R C, HUNTER R M, CHENG H P, et al. A parallel software development for watershed simulations [C]// Computational Science-ICCS. Berlin : Springer Publisher, 2005 :460-468.

[33] 徐力刚,张奇,左海军.地表水地下水的交互与耦合模拟研究现状与进展[J].水资源保护 2009 25(5):82-85.

(收稿日期 2009-10-20 编辑 方宇彤)

· 简讯 ·

第 1 届全国水利水电移民工程学术研讨会将于 2010 年 11 月在北京召开

为交流我国工程建设管理、设计、施工、科研部门在移民工程理论与实践方面的研究成果,建设有中国特色的移民工程理论体系和学科,构建移民工程学的学科建设、人才培养、科学研究、实践创新之平台,凝练我国移民工作实践之精华,促进中国水电可持续发展及和谐社会的建设,国家水电可持续发展研究中心河海大学等单位,拟于 2010 年 11 月中旬在北京联合召开第 1 届全国水利水电移民工程学术研讨会。会议的主要议题有:①移民科学理论与方法体系;②国内外移民政策与实践的比较;③移民系统分析;④移民工程规划与设计;⑤移民工程经济与管理;⑥移民社会心理分析;⑦移民社会风险与社会适应;⑧移民管理信息系统与数据库建设;⑨移民与高新技术应用(3S,信息技术等);⑩移民工程典型案例。会议论文将结集正式出版。

移民学是一门涉及工程技术、人口、社会、经济、资源、生态、环境、政治、民族、宗教、文化、心理等多学科的交叉科学,是一门极为复杂、影响深远的系统工程。随着中西部地区水利水电工程的开发建设及其生态环境恢复与保护、灾害防治、公共安全保障的发展需要,大规模的工程性移民活动已经发生并且必然将继续发生。据估计,新中国成立以来,中国的工程移民已达 7 000 万人,水库移民人数已经达到 2 930 万人。移民已经成为各级政府和全社会高度重视的重大社会问题,如果移民问题处理不当,将会造成巨大的经济、社会、政治、文化、生态、环境损失甚至灾难,导致民族、宗教、文化和人群之间的冲突,产生次生贫困群体,严重时会引起社会失稳。移民学研究已经成为支撑国家社会经济可持续发展的重大科技需求。

(本刊编辑部供稿)

“移民与社会发展——中国特色的移民之路”论坛将于 2010 年 7 月在哈尔滨举行

随着经济全球化、城市化和工业化进程的加快,国家之间、地区之间、城乡之间的人口流动与迁移已经成为世界潮流,随着社会经济发展、经济建设、生态环境恢复与保护、气候变化、灾害防治、公共安全保障的需要,大规模的工程、生态、环境、灾害、扶贫移民活动已经发生并且必然将继续发生。无论是自愿移民,还是非自愿移民,都带来了经济发展,促进了人类社会的进步,也带来了大量的社会问题和挑战。为了促进社会学界对移民问题的关注,加强移民社会学者之间的交流,中国社会学会移民社会学专业委员会(筹)和河海大学中国移民研究中心拟联合举办“移民与社会发展——中国特色的移民之路”论坛。该论坛将邀请国内人口流动与迁移、非自愿移民、人口城市化等相关领域的著名学者作大会主题报告并参与论坛讨论。论坛的主题是“移民与社会发展”。研讨的主要内容有:移民社会学理论与方法;全球化与国际人口流动及迁移;中国社会经济变迁与移民;城市化与人口流动及迁移;气候变化、环境保护与人口迁移;城市化与失地农民;城市建设、改造与拆迁安置;基础设施建设与移民安置;生态移民与社区变迁;扶贫移民与社区变迁;灾后重建与社会发展;各类移民与和谐社会建设。

(本刊编辑部供稿)