

MIKE SHE 模型的发展与应用研究

刘斯文¹, 刘海隆², 王玲³

- (1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000;
2. 电子科技大学资源与环境学院, 四川 成都 610054;
3. 西华大学土木建筑与环境学院, 四川 成都 610039)

摘要:MIKE SHE (MIKE System Hydrological European) 作为基于物理过程的分布式水文模型的典型代表,能够清晰地描述完整的地表水-地下水文过程,拥有数据精确、多模块模拟、用户界面方便等优点。主要就 MIKE SHE 模型的发展历史和主要应用进行了简单的总结分析,并简要阐述其主要存在的问题和改善的方法。

关键词:MIKE SHE 模型;发展;应用

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)05-0023-06

1 前言

水文模型的产生、发展和应用,能使我们更好更科学地了解水循环机理,为合理利用水资源提供了工具和方法,为相关部门水资源管理与决策提供了科学依据。

随着应用水文学的兴起,由起初的黑、白箱模型^[1-2]逐渐发展成为集总式水文模型(如 SCS、HSPF、新安江模型等^[1,3])。随后具有物理意义的分布式水文模型在 1969 年由 Freeze 和 Harlan 提出^[4]。分布式水文模型主要分为半分布式和完全分布式模型两类(其中半分布式水文模型主要有 PRMS、SWAT、HBV 模型等,分布式水文模型主要有 SHE、TOPMODEL、MODFLOW 模型等^[5-7])。

SHE(System Hydrological European)是最早为人所知的完全分布式模型,在 1980s 中期对怀伊河集水器的研究中首次提出该模型^[8],它可模拟陆地水循环中所有主要的水文过程,包括水流运动、水质和泥沙运输移动。MIKE SHE(MIKE System Hydrological European)模型是丹麦水利研究所在 SHE 模型的基础上研发而成的。该模型是第一个成功将完全分布物理模型应用于超过 1 000km² 研究区的水文模型^[9]。目前已广泛应用于湿地修复、水源地保护、洪水预报、城市排水、水资

源管理等方面。MIKE SHE 模型的产生已有多年,模型系统在今天仍然可用于实际工程项目。本文主要就 MIKE SHE 的发展与应用进行总结分析,找出主要存在的问题并提出对未来的展望。

2 MIKE SHE 简介

2.1 MIKE SHE 模型的发展

从 SHE 到 MIKE SHE 模型发展的 30 多年里,可以归纳为以下四个阶段:

1976~1986 年,英国、丹麦和法国三国水文研究所成立 ASHE (The Association pour le SHE) 协会,开发 SHE 模型并实现了第一个小流域的水文模拟^[9]。

1986~1992 年,模型合并期。这一时期主要是对 SHE 中的不同组件进行耦合,重点是寻找一种方法来解决数值计算迭代与不同水文过程并行之间的矛盾,这一工作虽由 ASHE 协会共同完成,但丹麦水利研究所(DHI)是该研究的主力,且 DHI 还将所有重要的改进移植到同一代码中,后来 ASHE 协会解散^[10]。

1992~2003,模型过渡期。为了迎接对复杂代码的大量更新,DHI 开始对 SHE 模型进行包装和传播,为其吸引更大的资金投入,这也是 SHE 模型向 MIKE

收稿日期:2018-02-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51569027);新疆重大科技专项(2016A03008-4)

作者简介:刘斯文(1994-),女,湖南益阳人,硕士研究生,主要从事水文水资源研究。E-mail:951655665@qq.com

通讯作者:刘海隆(1974-),男,四川德阳人,教授,博士生导师,主要从事 3S 技术应用研究。E-mail:liu_hai_tiger@163.com

SHE 模型的过渡的开始。

2003 年至今,模型整合期。这一时期主要是对水文流程做更为细致的描述,创造更加简单易用的界面,以及对不同的流域的其他模型代码进行集成。紧贴全球关注的环境及气候等热点问题,来改进 MIKE SHE 模型。如 Refsgaard 等提出的 MODFLOW 和 OPENMI 的技术也为解决模型兼容性提供了一定的研究价值^[11,12]。

2.2 MIKE SHE 的结构与特征

MIKE SHE 模型在水平上将研究区划分为众多离散网格,在垂直上根据用户自行定义的地质层情况进行分层,并通过模拟其交互关系计算,成为基于物理基础的空间分布模型^[13,14]。模型的模拟结构见图 1。MIKE SHE 主要包括了坡面流(OL)、河流和湖泊(OC)、饱和带/包气带(UZ)、蒸散发(ET)、饱和带(SZ)、融雪(SM)六个模块,不同的模块代表的水文过程不同,如 ET 主要代表了植被和土壤对水分的吸收和蒸腾作用;UZ 和 SZ 分表代表了下渗和地下水分布;OL 和 OC 主要代表了地表径流、地表水量储存以及河流河道等,不同模块可以独立作用也可相互作用^[15,16]。

建模时所需参数及率定的参数如下^[17-20]:

(1)基础建模参数:模型范围、地形、降雨、潜在蒸散发、气温、太阳辐射、子流域划分、河流形态、土地利用分布、土壤分布、地下水水质、污染物种类、污染源位置等。

(2)基本率定参数:表面糙率、河床糙率、河床渗透系数、饱和导水率、叶面积指数、根系深度等。

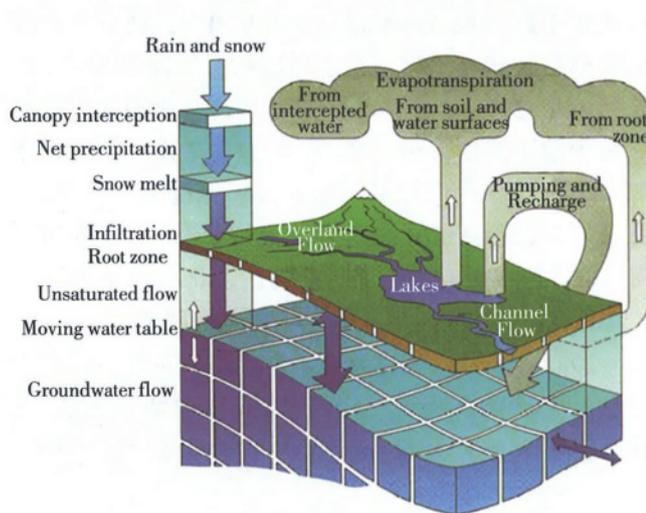


图 1 MIKE SHE 模型模拟结构示意图(引自 MIKE SHE 2014 使用手册)

Fig.1 The simulation structure of MIKE SHE model

许多学者注重于对 MIKE SHE 模型进行不确定分析进而优化参数,国内外对模型参数优化的研究,较为熟知的是 GLUE^[21]法和拉丁超立方随机采样法^[22],其中 GLUE 法在我国的应用较多,如在我国的妫水河流域,对流域径流进行了不确定性分析,得出了流域不确定性较大和较小的参数^[13]。

模型根据不同的模拟过程得到不同的输出结果。表 1 为几种常见的模拟过程及相应的输出项^[23-26]。

表 1 MIKE SHE 主要输出结果

Table 1 The main output results of MIKE SHE

| 模拟模块 | 输出参数 |
|----------------------|----------------------------------------|
| 非饱和带 | 非饱和带物质浓度、温度、根区含水量、含水率、压力水头、土壤水量变化 |
| 饱和带 | 饱和带物质浓度、饱和带温度 |
| 坡面流 | 地表径流量、地表径流深、地表径流水量交换 |
| 地下水模块 | 壤中流、壤中流水库水量变化、基流基流水库储量、死库容变化 |
| 蒸散发+饱和带+灌溉+MIKE11 模块 | 灌溉量、灌溉缺水量、灌溉需求量、 |
| 饱和带+MIKE11+排水+抽水模块 | 潜水深度、饱和带水位、饱和带渗流、地下水流、饱和带与河道水量交换、饱和带排水 |
| 河流与湖泊模块 | 地表径流深、地表径流物资浓度、空气温度 |

MIKE SHE 模型侧重于解决地表水、地下水及两者间相互作用的水资源和环境问题,可根据需要选择单一模块或整合多个模块建模,计算效率高,以下为模型的优缺点。

优点:不依赖于长期监测的实测数据;完整耦合地表水与地下水;按照严格的物理计算基础;方便且友好的用户界面。

缺点:需要大量水力参数;复杂的空间分布;水文过程仅基于物理计算;模型参数与模拟结果是非线性关系。

经验证,模型在我国不同生态水文区的适用性良好^[16],值得推广并对此模型开展深入学习。

3 MIKE SHE 应用

许多国家的大学、科研中心到咨询公司,都在运用 MIKE SHE 模型,用其来分析、规划和管理水资源。

本文主要从不同的特殊区域水文模拟、重要水文过程对生态环境因子的响应机制探讨、物质运输和水污染模拟、生态系统和气候变化对水文过程的影响预测四个方面简要叙述 MIKE SHE 模型的主要应用。

3.1 特殊区域水文模拟

3.1.1 缺乏数据资料的区域

无资料或缺资料地区的水文模拟,是近代国际水文水资源研究的热点和难点问题之一^[25]。数据的缺乏导致许多经验模型不可用,而 MIKE SHE 输入的所有参数都具有一定的物理意义,且其部分参数可以由经验率定得到,使得模型在缺资料情况下的模拟变成可能。

Windolf^[26]通过验证一个覆盖了 175 个丹麦测量站的 MIKE SHE 地下水模型,从而计算了丹麦 50% 无资料部分的月径流量数据。在我国干旱区缺乏资料的地区,通过对参数敏感性分析发现模型对降水的输入极为敏感,同时坡面流曼宁系数、给水度、饱和土壤导水系数对模拟结果影响很大^[25],完成模型参数化、率定和验证后,虽然模型效率仍有待提高,但结果表明在资料相对缺少的条件下构建具有完备物理基础的流域分布式水文模型是可行的。

3.1.2 高空间异质性、复杂水文地质和地下水运动剧烈的区域

空间异质性被普遍认为是包括研究区域的系统属性及其复杂性和变异性^[27],随着对区域研究的深入,学者们更加重视对高空间异质性、复杂水文地质和活跃地下水运动的区域的水文过程模拟^[28]。

在 Elmley 沼泽,有着活跃的地下水运动与较为频繁的洪水,Thompson^[29]利用长期监测的实测数据,建立了 MIKE SHE 与 MIKE11 耦合的流域地下水模型,用于分析地下水水位与洪水的响应关系,结果发现模拟数据与实测数据基本一致,MIKE SHE 模型在该区域有着很高的适用性。夏威夷的河道短且地形陡峭,地区降雨短暂且强烈,容易发生山洪等灾害,其复杂的水文地质环境使得建立经验模型变得困难,MIKE SHE 很好地解决了这一问题,并建立了精度较高的流域水文模型,用于分析流域极端水文事件^[30]。人为因素也容易造成流域的高空间异质性,如我国的南水北调工程,也能通过 MIKE SHE 模型进行情景分析,以研究水文系统的动态变化,恢复枯竭的地下水资源^[31]。我国的塔里木河流域土壤质地空间变化复杂,土壤粒度的垂向异质性较为显著^[32],但 MIKE SHE 仍成功模拟了塔河流域的水文循环过程。

MIKE SHE 模型提供的复杂的表面和地下的整合模拟,能够有效地描述一个完整的水文过程,模型中 SZ 和 UZ 模块的耦合可以很好地模拟地表水和地下水

之间的运动,尤其在具有复杂垂直地质层的区域,MIKE SHE 的作用尤为显著。

3.2 重要水文过程对生态环境因子的响应机制探讨

由于 MIKE SHE 模型拥有精准而又严格的物理基础,清楚地解释了区域的水文过程及其相互作用关系,因此可以很好地描述水文过程对生态环境影响因素的响应机制。

水循环间各影响因子相互作用,相对于其他分布式水文模型如 WetSpa 模型,在比利时的中型流域 MIKE SHE 模型能更好地描述地下水和气候变化间的关系^[33]。通过模型的验证,还可以得出影响水环境的原因不仅仅限于自然条件的变化,人为影响也可能成为影响区域水环境的主要因素,比如有研究发现,当大量使用地下水时,短期内影响地下水的主要因素是人为的抽水灌溉所导致的^[34]。模型需输入经验参数,在调参的过程中发现导致不同的地区水环境变化的主要参数也有不同^[30,35]; Mirela-Alina Sand^[36]用 MIKE SHE 模型对 Argesel 流域进行地表水-地下水的模拟,通过敏感性分析得到影响饱和带和非饱和带不同的参数。

MIKE SHE 模型可以通过观测径流、地下水水位、土壤湿度等水文现象来评估该地区的水文特性,并通过评估水文特性或是优化参数的方法达到分析环境影响因子的目的。

3.3 物质运输和水质模拟

MIKE SHE 模型可以模拟以水运动为载体的物质运输过程,建立水质模型。

有学者利用 MIKE SHE 模拟自然硝酸盐还原的过程,来达到减少农场硝酸盐的目的^[37]。由于沼泽地的生态系统对磷的含量非常敏感,可以通过建立模型达到恢复沼泽的目的^[38]。

但我国对使用 MIKE SHE 进行水质模拟的研究微乎其微,这表明 MIKE SHE 模型对水质的模拟技术并不成熟,使用并不广泛,需要学者们对模型功能再进行完善,并将其推广至我们的研究中。

3.4 生态系统和气候变化对水文过程的影响预测

MIKE SHE 还有一个重要应用是基于历史水文气象数据建立的模型,对环境变化下未来的水文过程进行预测。

近年来,使用 MIKE SHE 模型做影响预测的研究越来越多,主要在于研究过去和未来土地利用变化或气候变化对研究区生态系统及径流的影响^[39,40]。

在研究的同时,还应考虑气候和土地利用变化条件下建模结果的不确定性。Neil R. Viney 等通过将包括 MIKE SHE 等 10 种水文模型以多种方式结合在一起,生成多模型集合预测,在一定程度上解决模型预测的不确定性问题^[41]。

在我国 MIKE SHE 模型也多用于对干旱评估预报和洪水预报中^[42]。由于中小河流的水文资料较少,洪水突发性强,洪水预报预见期短,一般的报讯法很难实现洪水预报的有效性和及时性,对比以前的经验模型,MIKE SHE 的结果更为精确^[43]。

在此基础上,我们还能够通过流域的预测模拟,从而找出区域水文要素的转化关系、储存方式和时空分布特征,为水资源的管理与规划提供理论依据^[44,45]。

4 存在问题与研究展望

MIKE SHE 模型现存的主要问题不仅在于使用者需要掌握大量的相关专业基础知识。根据 Refsgaard^[46]的论述,将 MIKE SHE 建模的局限性主要总结为以下 3 点:(1)模型结构的不确定性,模型无法表达复杂三维现实的区域水文时空系统;(2)模型空间异质性不完善,在网格的尺度上,模型假定每一个网格是均匀同质的;(3)预测的不确定性,参数值的估计、边界条件的设定等都会影响模型的预测^[47,48]。

对于这些过度参数化导致的问题,除了通过各种优化参数的方法外^[21,22,49,50],也提出了如下的改善方案:(1)增加校准参数的次数解决过渡参数化;(2)做样方调查解决网格同质性;(3)把握关键参数,减少其他参数的调整影响关键参数对水文过程的响应。

尽管 MIKE SHE 仍有许多问题亟待解决,但我们不能过于在意模型的不确定性^[21]而忽视其强大功能。MIKE SHE 为探究自然界的物理水文过程提供了工具和方法。我们应进一步探索物理模型,制定一个更为完善的校准程序,使得模拟结果更为精确可信。

参考文献:

- [1] 徐宗学. 水文模型:回顾与展望[J]. 北京师范大学学报, 2010,46(3): 278-289. (XU Zongxue. Hydrological models: past, present and future[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010,46(3):278-289. (in Chinese))
- [2] Sherman L K. Stream flow from rainfall by the unit hydrograph method[J]. Engineering News Record, 1932,108:501-505.
- [3] 芮孝芳, 蒋成煜, 张金存. 流域水文模型的发展[J]. 水文, 2006,26(3):23-26. (RUI Xiaofang, JIANG Chengyu, ZHANG Jincun. Development of watershed hydrologic model[J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(3):23-26.(in Chinese))
- [4] Freeze R A, Harlan R L. Blue print for a physically-based digital simulated hydrologic response model [J]. J. Hydrol., 1969,9(3):237-258.
- [5] Arnone, E., Noto. Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale [J]. Geomorphology, 2011,133(1):121-131.
- [6] 徐宗学, 程磊. 分布式水文模型研究与应用进展 [J]. 水利学报, 2010,41(9):1009-1017. (XU Zongxue, CHENG Lei. Progress on studies and applications of the distributed hydrological models [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010,41(9):1009-1017. (in Chinese))
- [7] 金鑫, 郝振纯, 张金良. 水文模型研究进展及发展方向[J]. 水土保持研究, 2006,13(4):197-202. (JIN Xin, HAO Zhenchun, ZHANG Jinliang. Research evolution and development direction of hydrological models[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006,13(4):197-202. (in Chinese))
- [8] Bathurst, J.C. Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the système hydrologique Européen[J]. Hydrology, 1986,87(2):79-102.
- [9] Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T. Système hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically-based hydrological modeling [J]. Hydrol. Res.,2010,41(4):355-377
- [10] Refsgaard, J.C., Seth. Application of the SHE to catchments in India Part 1. General results [J]. Hydrol.,1992,140(1):1-23.
- [11] Banta, E.R., Hill, M.C. Building model analysis applications with the Joint Universal Parameter Identification and Evaluation of Reliability[J]. Comput. Geosci. ,2008,34(4):310-319.
- [12] Gregersen, J.B., Gijbers. Open MI: open modelling inter-face[J]. Hydroinform, 2007,9(2):175.
- [13] 郑震, 张静, 宫辉力. MIKE SHE 水文模型参数的不确定性研究 [J]. 人民黄河, 2015,1:23-26. (ZHENG Zhen, ZHANG Jing, GONG Huili. Study on uncertainty of parameters of MIKE SHE hydrologic model[J]. Yellow River, 2015,1:23-26. (in Chinese))
- [14] Thomas Vansteenkiste, Mohsen Tavakoli, Victor Ntegeka. Climate change impact on river flows and catchment hydrology: a comparison of two spatially distributed models[J]. Hydrological Processes, 2013,27(25):3649-3662.
- [15] Liang Ma, Chunguang He, Hongfeng Bian, Lianxi Sheng. MIKE SHE modeling of ecohydrological processes: Merits, applications, and challenges[J]. Ecological Engineering, 2016, 96:137-149.
- [16] 赵著燕, 陆颖, 袁旭, 等. MIKE SHE 在生态水文大区的适用性评价 [J]. 东北水利水电, 2018,(3):30-33. (ZHAO Zhuyan, LU Ying, YUAN Xu, et al. Evaluation of the applicability of MIKE SHE in ecological hydrology area[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2018,(3):30-33.(in Chinese))
- [17] 袁旭, 陆颖, 赵著燕. 国内 MIKE SHE 水文模型研究与应用综述 [J]. 水利科技与经济, 2018,24(1):13-17. (YUAN Xu, LU Ying, ZHAO Zhuyan. A review of research and applications of MIKE SHE model in China [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2018,24(1):13-17. (in Chinese))
- [18] 马全. 基于 MIKE SHE 模型的湟水流域干旱评估预报模型研究

- [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014. (MA Quan. Research on Drought Assessment and Forecast in Huangshui Basin on MIKE SHE[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014. (in Chinese))
- [19] 郭军庭. 潮河流域土地利用/气候变化的水文响应研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012. (GUO Junting. Hydrological Responses to Land Use Change and Climate Variability in the Chaohe Watershed, Beijing, China[D]. Beijing:Beijing Forestry University, 2012. (in Chinese))
- [20] 柏慕琛. 基于分布式水文模型的生态需水研究[D]. 武汉:武汉大学, 2017. (BAI Muchen. The Watershed Ecological Water Demand Research Based on the Distribution Hydrological Model [D]. Wuhan: Wuhan University, 2017. (in Chinese))
- [21] Christine E, Memichael, Allen S. Distributed hydrological modeling in California semi-arid shrublands: MIKE SHE model calibration and uncertainty estimation[J]. *Journal of Hydrology*, 2006,317(3-4): 307-324.
- [22] Christiaens K, Feyen J. Use of sensitivity and uncertainty measures in distributed hydrological modeling with an application to the MIKE SHE model[J]. *Water Resources Research*, 2002,38(9): 1-15.
- [23] 林波. 三江平原挠力河湿地生态系统水文过程模拟研究[D]. 北京:北京林业大学, 2013. (LIN Bo. Simulation of Hydrological Processes for Wetland in Naoli River Basin, NE China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013. (in Chinese))
- [24] 卢小慧, 李奇龙. 基于 MIKE SHE 模型的流域地下水水文响应[J]. *长江科学院院报*, 2015,32(1):12-15. (LU Xiaohui, LI Qilong. Analysis of hydrology response of groundwater using MIKE SHE model[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2015,32(1):12-15. (in Chinese))
- [25] 黄粤, 陈曦, 包安明. 干旱区资料稀缺流域日径流过程模拟[J]. *水科学进展*, 2009,20(3):333-336. (HUANG Yue, CHEN Xi, BAO Anming. Daily flow modeling in arid ungauged basin[J]. *Advances in Water Science*, 2009,20(3):333-336. (in Chinese))
- [26] Windolf Jorgen, Thodsen Hans, Troldborg Lars, etc. A distributed modelling system for simulation of monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catchments in Denmark[J]. *PubMed*. 2011,13(9):45-58.
- [27] 李海滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. *应用生态学报*, 1998, 9(6):651-657. (LI Habin, WANG Zhengquan, WANG Qingcheng. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 651-657. (in Chinese))
- [28] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity[J]. *Oikos*, 1995,73(2):280-284.
- [29] Thompson J R, Sorenson H R, Gavin H, et al. Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England[J]. *Journal of Hydrology*, 2004,293(1):151-179.
- [30] G.B. Sahoo, C. Ray, E.H. De Carlo. Calibration and validation of a physically distributed hydrological model, MIKE SHE, to predict streamflow at high frequency in a flashy mountainous Hawaii stream[J]. *Journal of Hydrology*, 2005,327(1-2):94-109.
- [31] Yunqiao Shu, Karen G. Villholth, Karsten H. Jensen. Integrated hydrological modeling of the North China Plain: Options for sustainable groundwater use in the alluvial plain of Mt. Taihang [J]. *Journal of Hydrology*, 2012,464-465:79-93.
- [32] 钱亦兵,周华容,赵锐锋,等. 塔里木河中下游湿地及其周边土壤理化性状的空间异质性[J]. *水土保持学报*, 2005,19(6):31-34. (QIAN Yibing, ZHOU Huarong, ZHAO Ruifeng. Spatial heterogeneity of soil physical-chemical properties for wetlands and surrounding lands in middle and lower reaches of Tarim River [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005,19(6):31-34. (in Chinese))
- [33] Thomas Vansteenkiste, Mohsen Tavakoli, Victor Ntegeka. Climate change impact on river flows and catchment hydrology: a comparison of two spatially distributed models[J]. *Hydrological Processes*, 2013,27(25):3649-3662.
- [34] 姜凌峰, 薛联青, 刘远洪. 基于 MIKE SHE 模型的干旱区节水灌溉对地下水水位的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2016, 35(2):59-65. (JIANG Lingfeng, XUE Lianqing, LIU Yuanhong. Effects of water-saving irrigation on groundwater in arid basin on MIKE SHE model [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(2): 59-65. (in Chinese))
- [35] Doummar J, Sauter M, Geyer T. Simulation of flow processes in a large scale karst system with an integrated catchment model (Mike She) - identification of relevant parameters influencing spring discharge[J]. *Journal of Hydrology*, 2012,426(12):112 - 123.
- [36] Mirela-Alina Sandu, Ana Virsta. Applicability of MIKE SHE to simulate hydrology in Argesel River catchment[J]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2015:517-524.
- [37] Refsgaard, J.C., Auken, E., Bamberg, C.A. Nitrate reduction in geologically heterogeneous catchments: a framework for assessing the scale of predictive capability of hydrological models [J]. *Science of the Total Environment*, 2014,468-469:1278-1288.
- [38] Stephanie A. Long, Georgio I. Tachiev, Robert Fennema. Modeling the impact of restoration efforts on phosphorus loading and transport through Everglades national park, FL, USA[J]. *Science of the Total Environment*, 2015,520:81-95.
- [39] 李静, 焦树林, 梁虹, 等. 基于 MIKE SHE 分布式水文模型的降水时间尺度对喀斯特流域径流模拟的影响研究—以红水河系六硐河流域为例[J]. *中国岩溶*, 2010,31(4):388-394. (LI Jing, JIAO Shulin, LIANG Hong, et al. Research on the impact on runoff by time-scale of the precipitation in Karst basin in view of MIKE SHE model: a case in Liudong River of the Hongshuihe system [J]. *Carsologica Sincia*, 2010,31(4):388-394. (in Chinese))
- [40] 郭靖. 气候变化对流域水循环和水资源影响的研究[D]. 武汉:武汉大学, 2010. (GUO Jing. Effects of Climate Change on Water Cycle and Water Resources in Watershed [D]. Wuhan: Wuhan University, 2010. (in Chinese))
- [41] Neil R. Viney, H. Bormann, L. Breuer, et al. Assessing the impact of land use change on hydrology by ensemble modelling (LUCHEM) II: ensemble combinations and predictions[J]. *Advances in Water Resources*, 2008,32(2):147-158.

- [42] 陈国轩,梁海涛,林睿璇. MIKE SHE 分布式水文模型在广东省中小河流洪水预报中的应用展望[J]. 广东水利水电, 2016,5:34–36. (CHEN Guoxuan, LIANG Haitao, LIN Rongxuan. Application of MIKE SHE model to flood forecasting of small and medium rivers [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2016,5:34–36. (in Chinese))
- [43] 汤旻,曹双和,胡红兵,等. MIKESHE 在电厂洪峰计算中的应用与结果分析[J]. 人民长江, 2015,46(9):26–30. (TANG Min, CAO Shuanghe, HU Hongbing. Application of MIKE SHE in peak flood calculation of hydropower plant and result comparison[J]. Yangtze River, 2015,46(9):26–30. (in Chinese))
- [44] 姚建,张晓威. 运用 MIKE SHE 对鲢鱼圈地区地下水资源量进行评价[J]. 黑龙江水利科技, 2012,40(9):8–10. (YAO Jian, ZHANG Xiaowei. Applying MIKE SHE model to evaluate groundwater resources in Bayuquan area[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2012,40(9):8–10. (in Chinese))
- [45] 刘蛟,刘铁,黄粤. 基于遥感数据的叶尔羌河流域水文过程模拟与分析[J]. 地理科学进展, 2017,36(6):753–761. (LIU Jiao, LIU Tie, HUANG Yue, BAO Anming. Simulation and analysis of the hydrological processes in the Yarkant River basin based on remote sensing data[J]. Progress in Geography, 2017,36(6):753–761. (in Chinese))
- [46] Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T. Système Hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically-based hydrological modeling[J]. Hydrol. Res., 2010,41:355–377
- [47] Beven, K., Changing ideas in hydrology: the case of physically-based models[J]. J. Hydrol., 1989,105:157–172.
- [48] Beven, K. How far can we go in distributed hydrological modeling [J]. Hydrol., 2001,5(1):1.
- [49] Beven, K., Binley, A. GLUE: 20 years on [J]. Hydrological Processes., 2014,28(24):5897–5918.
- [50] Christine, E., McMichael, ALLEN S., Hope, Predicting streamflow response to fire-induced land cover change: implications of parameter uncertainty in the MIKE SHE model [J]. J. Journal of Environmental Management., 2007,84(3):245–256.

Development and Application of MIKE SHE Model

LIU Siwen¹, LIU Hailong², WANG Ling³

(1. Institute of Water Conservancy Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. College of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

3. School of Civil Architecture and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: As a typical representative of a distributed hydrological model which is based on physical processes, Mike SHE (Mike System Hydrological European) can clearly describe the complete surface water-groundwater process with the advantages of accurate data, multiple module simulation and convenient user interface. This paper made a brief summary and analysis of the development history and main application of the model, and also briefly explained its main problems and improvement methods.

Key words: MIKE SHE model; development; application

(上接第 5 页)

Derivation of Design Tide Curve for Pearl River Estuary Based on Bivariate Joint Distribution

ZHOU Yueying¹, GUAN Shuai²

(1. Xinhua College of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510520, China;

2. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510630, China)

Abstract: For the limitation of calculating and designing the design tide level process line with the same ratio method and same frequency methods, and based on using 4 kinds of marginal distribution functions to fit the annual highest tide level and maximum tide range sequence in the Pearl River estuary, this paper selected 4 kinds of different two-dimensional Archimedean Copula functions to establish the joint distribution of annual highest tide level and annual maximum tide range in the Pearl River estuary, and analyzed the linear relationship between the return period of highest tide level and simultaneous return period of tide level process. The results show that the simultaneous recurrence period of highest tide level and tide range is always more than that of marginal distribution. Besides, with the increase of return period of marginal distribution, the simultaneous return period will also be increased, and this shows that the possibility of simultaneous return period of highest tide level and tide range is very small. In the end, the joint distribution method is more reasonable than the same frequency method in calculating the tide level process line in the Pearl River estuary.

Key words: design tide curve; high tidal level; tidal range; Copula function; probability