

珠江流域大尺度陆面水文耦合模式的构建及应用

朱永楠^{1,2}, 林朝晖², 郝振纯^{1,3}

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心,北京 100029;3.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:以珠江流域为研究对象,通过更新陆面水文模式所需的下垫面参数数据库,建立适合于珠江流域的大尺度陆面水文耦合模式系统,并利用该模式开展了1963~2006年流域水文水循环过程的数值模拟,通过与实测流量比较,系统考察了陆面水文耦合模型对珠江流域水循环各分量的模拟性能。分析结果表明,该陆面水文耦合模式对珠江流域年平均各水循环要素具有良好的模拟能力;模式对珠江流域干流主要控制水文站的月平均流量也有较高的模拟精度,模式模拟的水量平衡系数均接近1,相关系数均高于0.84,IOA相似度系数均高于0.9;相对而言,模式对流量峰值的模拟能力还有待提高。

关键词:陆面水文耦合模式;珠江流域;水文过程模拟;水循环

中图分类号:P338 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2015)01-0014-06

1 引言

气候变化改变着全球水文循环的现状,直接影响到降水、蒸发、径流、土壤湿度等水循环要素的时空分布,引起水资源在时间和空间上的重新分配^[1],尤其是近年来,与气候变化相关的全球洪涝、干旱等极端水文事件频繁发生^[2],对水资源管理系统及社会经济系统起到深远的影响。因此,发展和完善大尺度分布式陆面水文耦合模式,并用之开展流域陆面水文过程的模拟,深入了解流域水循环各环节的相互作用及其对陆表能量和水分过程的影响机制,进而探讨气候变化背景下陆面水文循环的演变特征及其未来变化预估,已成为现阶段气候变化研究的前沿和热点^[3-5]。

珠江流域位于我国东南,流域降水受季风系统影响显著,呈现出显著的季节差异及年际、年代际变化特征。珠江流域面积45 369 km²,由西江、北江、东江和珠江三角洲诸河等4个水系组成,径流年内分配极不均,汛期4~9月约占年径流总量的80%,夏季(6~8月)则占年径流量的50%以上。研究表明,珠江流域20世纪

80年代中期以后进入偏暖期,气温明显上升^[6];20世纪90年代以来,珠江流域水文情势变化复杂,洪旱灾害频发^[7]。而基于水文模型对珠江流域水文过程开展模拟研究,近年来也有不少工作,包括从新安江、NAM等集总式模型发展,以及TOPMODEL、VIC、EasyDHM等具有物理基础的分布式水文模型^[8-10]。但总体而言,上述模式均为水文模型,对陆面地表与大气间能量平衡的模拟相对较为薄弱^[11]。

进一步揭示地表、土壤及地下水文过程与气候之间的相互作用,发展陆面-水文耦合模式,并实现与气候模式的耦合,已成为现阶段气候与水文学交叉研究的前沿^[4]。国际上也发展了诸多可较好考虑陆面过程与水文水循环过程的陆面水文耦合模式^[12-13]。其中,Yang等^[14]发展了一个适合于淮河流域的陆面水文模式,较好地考虑了陆面植被、土壤和积雪层的水分、能量和动量过程,有机融合了地表水、地下水、土壤水及河流湖泊地表水体等各个水文过程环节,其水量平衡、能量平衡及水文过程的模拟效果已在淮河流域得到了验证^[15]。本研究拟在Yang等^[16]发展的陆面水文耦合

收稿日期:2014-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41175073);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05110000)

作者简介:朱永楠(1985-),女,北京人,博士研究生,主要从事陆面水文模式研发及其应用研究。E-mail:zhuyongnan@mail.iap.ac.cn

模式的基础上,结合珠江流域的水文地质等观测资料,更新模式参数库,实现该模式珠江流域的移植,建成适合于珠江流域的大尺度陆面水文耦合模式,并通过长时间流域数值试验,系统测试该模式对珠江流域水文水循环过程的模拟能力。

2 珠江流域陆面水文耦合模式的建立

2.1 陆面水文耦合模式框架

基于 Yang 等^[16]研发的陆面水文耦合模式,本研究中的珠江流域陆面水文耦合模式包括大尺度陆面模式 LXS(Land surface Transfer Model)、细网格分布式水文模式 HMS(Hydrologic Model System)以及两个模块间的耦合。其中陆面模式 LXS 包括 2 层植被模块(树木和草地)、3 层积雪模块和 6 层土壤模块(累积厚度 4.25m),详细的模式介绍可参见文献 [17]; 水文模型 HMS 包括地表水模块、土壤水模块、地下水模块及地下水与河流、湖泊相互作用模块。

对于珠江流域陆面水文耦合模式,其陆面和水文模块均采用 20km 网格,其中陆面模式 LXS 计算地表能量平衡,将得到的产流、蒸散发和深层入渗量,土壤含水量等赋值到水文模块中,由水文模块模拟河道流量、地下水位、河流湖泊与包气带的交换量、河流湖泊与地下水的交换量,以及湖泊深度等。耦合模式通过土壤和地下水界面的水分通量实现上述土壤水和地下水分量模式的耦合(如图 1 所示)。

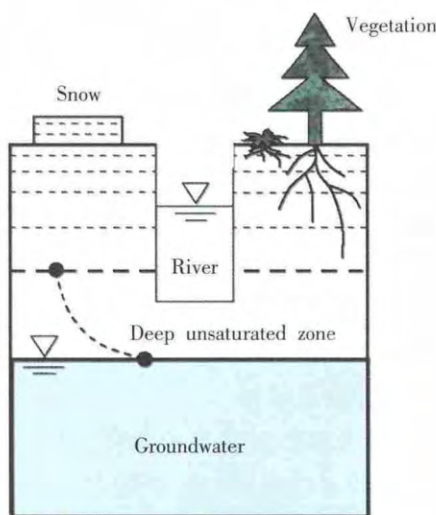


图 1 珠江流域陆面水文耦合模式结构框图

Fig.1 The structure of the coupled land surface-hydrological model

2.2 耦合模式参数设置

耦合系统建立所需要的参数主要包括地表高程、

植被类型、土壤质地、水文地质参数等陆面、水文分量模式所需要模式特征参数。

耦合模式中的陆面土壤模块共分为 6 层,从上到下每层的厚度为 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 1.0, 2.5m,累计厚度为 4.25m。土壤质地数据包括 6 层砂土含量和粘土含量数据,原始数据源是 Webb 等^[18]整理的一个标准化全球土壤质地和水利参数数据库,根据 GENESIS 大气环流模式中的 $2 \times 2^\circ$ 土壤质地数据库采用距离权重方法差值得到^[17]。植被参数采用 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 全球 30s 的植被数据,通过投影转换成 Lambert 等面积投影,再升尺度到 20km,得到亚洲区域的植被类型数据库。

水文模式 HMS 中的参数主要由 USGS HYDRO1K 数据集整理得到。HYDRO1K 全球水文数据集采用美国 USGU 地球资源观测系统数据中心 (EROS Data Center) 与联合国环境计划——全球资源信息中心 (UNEP/GRID) 联合制作的全球数字地形高程模型数据库,包括高程、累积流、坡度等,该数据水平分辨率为 1000m,DEM 精度为 30m。利用该数据集可导出模式初始所需的高程偏差、流域划分。而河道深度、河湖水面初始高程等参数则由该数据处理得出假设值,根据累积流量和假设产流量 (0.5mm/d),计算河道深度初始值,同时假设河道水位均为河道深度的 70%,经长系列模拟运算推出河湖水面初始高程。

模式中的土壤分类参考联合国粮农组织 (FAO) 和维也纳国际应用系统研究所 (IIASA) 构建的世界和谐土壤数据库 (HWSD),其中中国境内数据参考 1:100 万全国土壤资料^[19]。水力传导度及孔隙度等水文参数同时参考 USGS30s 土壤质地数据当中不同类型土壤的特性值整理得出。

2.3 模式气象驱动数据及模拟试验设计

为系统检验耦合模式对珠江流域水文过程的模拟能力,本研究利用该模式进行 1962~2006 年总共 45a 的模拟试验,耦合模式中陆面、水文模式的分辨率均取为 20km,其中水文模块积分步长为 24h,陆面模块积分步长为 30min,所需的气象驱动场为半小时的驱动资料。

模拟试验中所需要的近地表风速、比湿、气压、辐射通量等均采用美国 NCEP/NCAR 再分析资料^[20]。降水资料为美国国家气候预测中心 (CPC) 提供的东亚地区逐日降水格点资料^[21],空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,该资料经随机函数方法解集生成逐小时资料,

而后通过双线性差值得到 20km 分辨率数据。地表气温资料为 1961~2009 年中国区域均一化逐日历史气温资料集(CN05)^[22], 空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 在对资料进行时间解集过程中, 首先利用全球 3h 一次的普林斯顿地表气温资料^[23]以考虑合理的温度日变化过程, 而后再利用线性插值法得到半小时一次的气温资料, 并用双线性插值法将资料分辨率处理至 20km。

本研究利用模式对 1963~2006 年共 44a 的模拟结果与流域水文站观测流量进行比较分析, 其中观测站点分别选取西江干流的梧州站、北江干流的石角站及东江干流的博罗站(见图 2)。并选用 WBI 河道水量平衡系数、Nash-Sutcliffe 效率系数(NSI)、Pearson 相关系数(PMC)以及 IOA 指标分辨检验模型模拟流量对流域水量平衡过程、观测流量峰值、时间相关度以及两组序列的相似度^[15]。

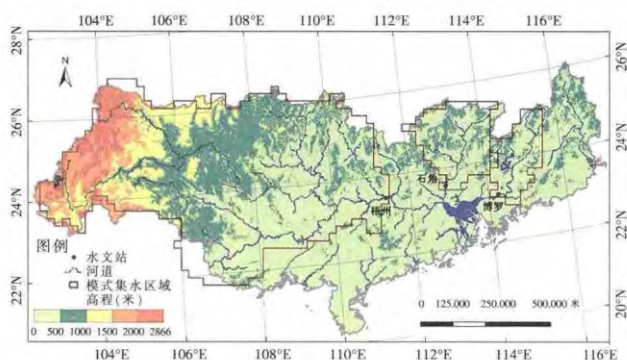


图 2 珠江流域地形、流域内主要水文控制站位置及其集水面积
Fig.2 The hydrological stations and their catchment area in the Pearl River basin

3 模拟结果分析

3.1 流域年水量平衡模拟

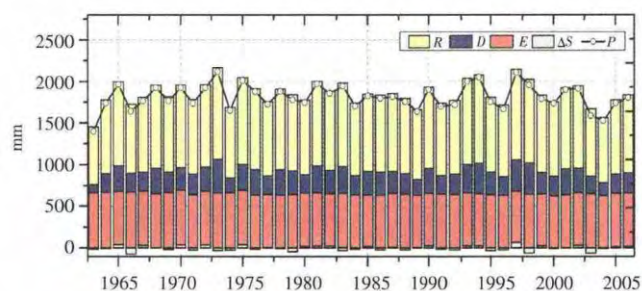
在一定时段内, 任一区域或水体水量的收入和支出等于时段内地面需水量的变化, 平衡的基本原理是质量守恒定律^[24]。水量平衡是构建流域水文的基础, 也是衡量模式模拟结果合理性的指标之一。对于陆面水文模式而言, 研究流域内水循环各分量的平衡误差记为 ΔW , 则 ΔW 可表示为:

$$\Delta W = P - E - R - D - \Delta S_m - \Delta S_n \quad (1)$$

式中: P 为降水量; E 为地表蒸散发量; R 为产流量; D 为土壤底层排水量; ΔS_m 为单位时间内土壤含水量变化; ΔS_n 为单位时间内地表积雪的变化量。

图 3 给出了珠江流域 1963~2006 年共 44a 模式模

拟的水循环各个分量的年平均结果, 由于珠江流域气候温和, 流域中 ΔS 主要体现为土壤含水量的变化。从图可见, 水循环的各个分量均呈现出一定的年际变化特征, 但年土壤含水量的变化相对而言较小, 趋近于 0; 地表蒸散发量与产流量随降水呈显著的年际变化, 多雨年地表蒸散发量、产流量随之增加, 少雨年则相对减少。图中各年的降水量与其余分量之和基本相等, 多年平均误差 ΔW 为 0.03mm/d, 说明耦合模型对流域水量平衡模拟具有良好的模拟能力。



R 为产流量; D 为土壤底层排水量; E 为地表蒸散发量; ΔS 为土壤含水量变化量及地表积雪的变化量之和; P 为降水量(单位: mm/a)

图 3 珠江流域 1963~2006 年逐年流域水量平衡模拟结果,
Fig.3 The water balance simulation results for the Pearl River basin from 1963 to 2006. Note: R represents the runoff; D represents drainage; E represents evaporation; ΔS represents the sum of soil moisture content and snow variation; P represents precipitation (unit: mm/a)

蒸发量是水循环过程中最难测量的变量之一, 陆面蒸散过程与植物生态生理过程、土壤环境及微气象的特征密切相关, 不同方法估算的陆面蒸散量也存在较大差异^[25]。本研究中模式的蒸散发是采用空气动力学方法计算而得到的, 模式模拟的珠江流域多年平均蒸散发为 639mm, 与李修仓^[26]通过建立实际蒸散发模型估算的珠江流域实际年平均蒸散发 660mm 结果相近。

模式综合考虑了超渗产流和蓄满产流的机制, 模拟产流主要集中在夏季, 与降水过程一致, 多年平均产流量为 930mm, 多年平均产流系数为 0.49, 与近年来中国水资源公报^[27]结果相一致。

3.2 流量模拟性能评估

本节主要考察陆面水文耦合模式对珠江流域梧州站、石角站及博罗站流量的模拟能力, 为此首先在表 1 给出了模式中梧州站、石角站及博罗站所代表的集水面积, 以及与实测集水面积的比较。从表中可以发现, 耦合模式中集水面积与实际集水面积相当接近, 误差在 1%~4% 之间, 说明模式能很好地刻画出珠江流域的河网及水系分布特征。

表1 耦合模式对珠江流域1963~2006年主要站点逐月水文过程的模拟结果评估
Table1 Evaluation of the monthly simulated stream flow by CLHMS from 1963 to 2006

| 水文站 | 实际集水面积 /10 ³ km ² | 模式集水面积 /10 ³ km ² | 误差 /% | WBI | NSI | PMC | IOA |
|-----|--|--|----------|------|------|------|------|
| 梧州 | 327.00 | 322.80 | -1 | 1.00 | 0.70 | 0.84 | 0.91 |
| 石角 | 38.36 | 38.80 | 1 | 1.06 | 0.74 | 0.87 | 0.92 |
| 博罗 | 25.33 | 24.40 | -4 | 1.00 | 0.62 | 0.84 | 0.91 |

表1同时给出了模式对梧州站、石角站及博罗站模拟的水量平衡系数(WBI)、效率系数(NSI)、相关系数(PMC)以及相似度(IOA)。同时我们在图4给出1963~2006年珠江代表水文站月平均降雨量、模式模拟的逐月流量以及与实测月平均流量的比较。

从图4可见,珠江流域冬季雨量较少,夏季雨量充沛,同时还存在显著的年际变化特征。对应的流域观测流量体现为冬季为枯水期,夏季为丰水期,与流域降水存在显著的对应关系。比较模式模拟的月平均流量可以发现,模式很好地模拟出观测月平均流量的季节和年际变化特征。

结合表1的结果可以发现,对梧州站、石角站及博罗站的月平均流量而言,模式模拟的WBI水量平衡系数均接近1,在梧州、博罗站为1.0,在石角站为1.06; Pearson相关系数均高于0.84,在梧州、博罗站为0.84,在石角站为0.87。而对于相似度指标IOA,模式在梧州站、石角站及博罗站3个站点模拟的数值均高于0.91,上述结果表明模式对各水文控制站点的流量模拟与观测较为一致,模拟与观测结果之间具有相当高的相关性及其相似度。

从表1中还可以发现,模式对反映流量峰值模拟能力的纳什效率系数(NSI)的模拟结果相对偏低,其中梧州和石角模式模拟的NSI效率系数分别为0.7、0.74,而模拟的东江博罗站的NSI效率系数仅为0.62,显然本文研制的陆面水文耦合模式对珠江流域流量峰值的模拟能力相对较弱,这表明现有的珠江流域陆面水文耦合模式还有待改进,包括模式的产流过程、模式关键陆面水文参数的进一步率定等。

4 总结与思考

本研究以珠江流域为研究对象,通过构建数字流域,更新了陆面水文模式所需的下垫面参数数据库,建立了基于LSX陆面过程模式及HMS水文模式的珠江流域大尺度陆面水文耦合模式系统;并利用NCEP再分析资料、观测气温和降水资料,模拟了珠江流域1963~2006年共44a水文水循环过程,通过与实测流量比较,考察了陆面水文耦合模型对珠江流域水循环各分量的模拟性能。分析结果表明,本文构建的大尺度陆面水文耦合模式对珠江流域年平均地表蒸散发量、产流量、土壤底层排水量等水循环分量均具有较好的模拟能力,多年平均水分平衡的误差仅为0.03mm/d;对珠江流域3个水文站(梧州、石角、博罗)流量的模拟结果表明,模式模拟的三个站点水量平衡系数(WBI)均接近1,pearson相关系数均高于0.84,IOA相似度系数均高于0.9,表明该陆面水文耦合模型在珠江流域具有很高的精度和准确性;模式对梧州、石角、博罗站的

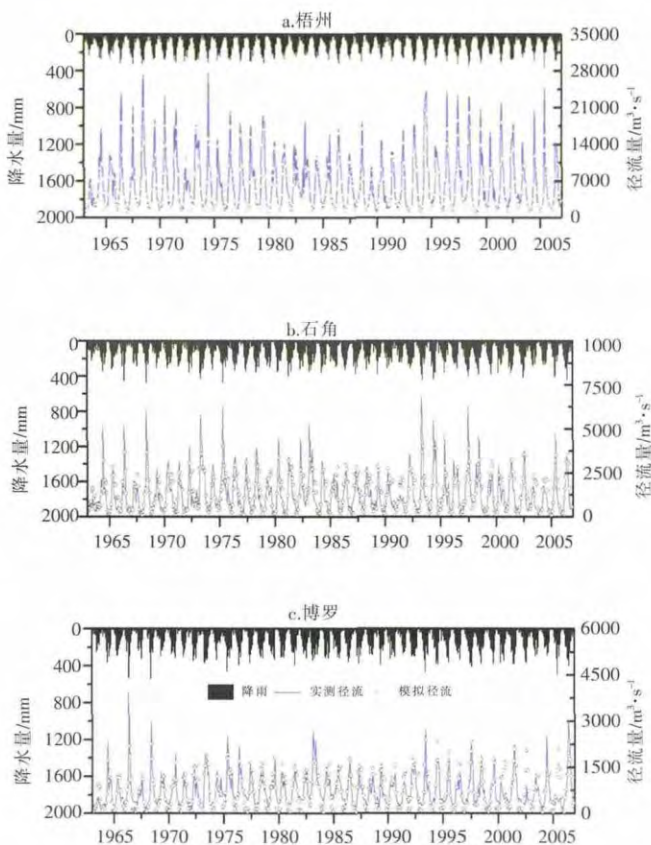


图4 珠江流域1963~2006年模拟流量和实测流量的逐月序列对比图
Fig.4 Comparison of the monthly simulated flow and observed flow from 1963 to 2006 at (a) Wuzhou, (b) Shijiao and (c) Boluo station

NSI 效率系数分别为 0.7、0.74、0.62, 表明模式在流量峰值的模拟能力还有待提高。

极端水文过程的研究已经成为现阶段水文水循环研究的重要前沿问题。本研究表明现有的珠江流域陆面水文耦合对流域极端水文过程的模拟还存在较为显著的不足, 除了该模式对地表产流等水文过程的描述还有待改进和完善外, 另外一个方面还可归因于现有的模式未能充分考虑人类活动影响的缘故。众所周知, 珠江流域人类活动频繁, 大型水库、人工取水等对河道流量(特别是流量峰值)的影响较大, 尤其是对于人类活动影响相对较大的东江流域。此外, 在本文研究中模式分辨率取为 20km 网格, 较低的耦合模式分辨率可能也是造成模式模拟偏差的原因之一, 尤其是对于面积较小的东江子流域而言。因此构建具有更高分辨率、可考虑人类活动影响的珠江流域陆面水文耦合模式, 并应用于珠江流域极端水文水循环过程的模拟研究, 是今后需要进一步加强的工作。

参考文献:

- [1] Z. Su, D. Fernández-Prieto, J. Timmermans, et al. First results of the earth observation water cycle multi-mission observation strategy (WACMOS) [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014,26(1):270–285.
- [2] 杨涛, 陆桂华, 李会会, 等. 气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J]. *水科学进展*, 2011,22(2):279–286. (YANG Tao, LU Guihua, LI Huihui, et al. Advances in the study of projection of climate change impacts on hydrological extremes [J]. *Advances in Water Science*, 2011,22(2):279–286. (in Chinese))
- [3] Miller, E., Foken, T., Heise, E., et al. A nucleus for a BALTEX field experiment [J]. *DWD Arbeitsergebnisse*, 1995,33.
- [4] 林朝晖, 刘辉志, 谢正辉, 等. 陆面水文过程研究进展[J]. *大气科学*, 2008,32(4):935–949. (LIN Zhaohui, LIU Huizhi, XIE Zhenghui, et al. Recent progress in the land-surface and hydrological process studies [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008,32(4): 935–949. (in Chinese))
- [5] 曾庆存, 林朝晖. 地球系统动力学模式和模拟研究的进展[J]. *地球科学进展*, 2010,25(1):1–6. (ZENG Qingcun, LIN Zhaohui. Recent progress on the earth system dynamical model and its numerical simulations[J]. *Advances in Earth Science*, 2010,25(1):1–6. (in Chinese))
- [6] 余有贵, 谢宏旭. 上世纪 90 年代以来珠江水情新特点 [J]. *人民珠江*, 2007,28(4):23–25. (SHE Yougui, XIE Hongxu. New features of Pearl River basin water regime since 1990s [J]. *Pearl River*, 2007,28(4):23–25. (in Chinese))
- [7] Cui, W.Z., Chen, J., Wu, Y.P., et al. An overview of water resources management of the Pearl River [J]. *Water Sciences & Technology: Water Supply*, 2007,7(2):101–113
- [8] 邓鹏, 李致家, 谢帆. TOPMODEL 在珠江流域布柳河流域的应用及其与新安江模型比较[J]. *湖泊科学*, 2009,21(3):441–444. (DENG Peng, LI Zhijia, XIE Fan. Application of TOPMODEL in Buliu River catchment, Pearl River basin and comparison with Xin'anjiang model [J]. *Journal of Lake Science*, 2009,21(3):441–444. (in Chinese))
- [9] Jun Niu, Ji Chen. Terrestrial hydrological features of the Pearl River basin in south China [J]. *Journal of Hydro-environment Research*, 2010,4(4):279–288.
- [10] 孙甲岚, 张峰, 廖卫红, 等. 分布式水文模型 EasyDHM 在北江流域的应用[J]. *南水北调与水利科技*, 2012,10(5):32–36. (SUN Jialan, ZHANG Feng, LIAO Weihong, et al. Application of distributed hydrological model EasyDHM in Beijiang River basin [J]. *South to North Water Diversion and Water Science & Technology*, 2012,10(5):32–36. (in Chinese))
- [11] 杨传国. 区域陆面-水文耦合模拟研究与应用[D]. 南京: 河海大学博士学位论文, 2009. (YANG Chuanguo. Research on Coupling Land Surface-hydrology Model and Application [D]. Nanjing: Hohai University, 2009. (in Chinese))
- [12] 王莉莉, 陈德辉. GRAPES Noah-LSM 陆面模式水文过程的改进及试验研究 [J]. *大气科学*, 2013,37(6):1179–1186. (WANG Lili, CHEN Dehui. Improvement and experiment of hydrological process on GRAPES Noah-LSM land surface model [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 2013,37(6):1179–1186. (in Chinese))
- [13] Li H, Wigmosta M S, Wu H, et al. A physically based runoff routing model for land surface and earth system models [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2013,14(3):808–828.
- [14] Yang Chuanguo, Zhaohui Lin, Zhongbo Yu, et al. Analysis and simulation of human activity impact on streamflow in the Huaihe River basin with a large-scale hydrologic model [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2010,11(3):810–821.
- [15] 唐伟, 林朝晖, 杨传国, 等. 基于陆面水文耦合模式 CLHMS 的淮河流域水文过程的模拟评估及其不确定性分析 [J]. *气候与环境研究*, 2014, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.13066. (TANG Wei, LIN Zhaohui, YANG Chuanguo, et al. Evaluation of Hydrological Simulation over Huaihe River basin with a coupled land surface and hydrologic model system and its uncertainty analysis [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2014, doi:10.3878/j.issn. 1006-9585.2013.13066. (in Chinese))
- [16] Yang Chuanguo, Shao Yaping, Lin Zhaohui, et al. Development of a two-way coupled land surface-hydrology model: method and application [A]. *Proceedings of International Symposium on Climate Change and Water (ISCCCW)* [C]. 2011: 309–317.
- [17] Pollard, D. and S.L. Thompson. Use of a land-surface-transfer scheme (LSX) in a global climate model (GENESIS): The response to doubling stomatal resistance [J]. *Global and Planetary Change (MECCA special issue)*, 1995,10:129–161.
- [18] Webb, R. S., C. E. Rosenzweig, E. R. Levine. Specifying land

- surface characteristics in general circulation models: Soil profile data set and derived water-holding capacities, global biogeochem[J]. *Cycles*, 1993, 7(1): 97-108.
- [19] Shi, X.Z., D.S. Yu, E.D. Warner, et al. Soil database of 1: 1,000,000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system [J]. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45: 129-136.
- [20] Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, 77: 437-471.
- [21] Xie P, Yatagai A, Chen M, et al. A gauge-based analysis of daily precipitation over east Asia [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(3): 607-626.
- [22] Xu Ying, Gao Xuejie, Shen Yan, et al. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(4): 763-772.
- [23] Sheffield J, Goteti G, Wood E F. Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(13): 3088-3111.
- [24] Reggiani, P., M. Sivapalan, S. M. Hassanizadeh. A unifying framework for watershed thermodynamics: Balance equations for mass, momentum, energy and entropy, and the second law of thermodynamics [J]. *Advance in Water Resources*, 1998, 22(4): 367-698.
- [25] 张强, 张之贤, 问晓梅, 等. 陆面蒸散量观测方法比较分析及其影响因素研究[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(5): 538-547. (ZHANG Qiang, ZHANG Zhixian, WEN Xiaomei, et al. Comparisons of observational methods of land surface evapotranspiration and their influence factors [J]. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(5): 538-547. (in Chinese))
- [26] 李修仓. 中国典型流域实际蒸散发的时空变异研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013. (LI Xiucang. Spatio-temporal Variation of Actual Evapotranspiration in the Pearl, Haihe and Tarim River Basins of China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Sciences & Technology, 2013. (in Chinese))
- [27] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报 [R]. 2000. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. *China Water Resources Bulletin*[R]. 2000. (in Chinese))

Development of Large Scale Coupled Land Surface and Hydrologic Model System and Its Application in Pearl River Basin

ZHU Yongnan^{1,2}, LIN Zhaohui², HAO Zhenchun^{1,3}

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. ICCES, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 201198, China)

Abstract: In this paper, we updated the digital watershed data set of a coupled land surface and hydrologic model system (CLHMS) for the Pearl River Basin. The water cycle process of the Pearl River Basin during 1963-2006 was simulated using CLHMS. We evaluated the simulation ability of each water cycle component with the measured stream flow. The results show reasonable inter-annual responses of dominant water cycle components and good skills in simulating the monthly river flow of main stream. The water balance indexes (WBI) are close to 1, the Pearson correlation coefficient (PMC) are above 0.84, the IOA similarity coefficient are above 0.9, the skill of peak flow simulation still need to be improved.

Key words: coupled land surface and hydrologic model system; Pearl River Basin; hydrological process simulation; water cycle

(上接第 91 页)

Study on Flood Season Staging and Flood Grading for Lower Reaches of Muwenhe River

SONG Yunfeng¹, ZHANG Chunxia¹, DIAO Yanfang², ZHANG Qinghua²

(1. Taian Hydrology Bureau of Shandong Province, Taian 271000, China; 2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: In order to implement dynamic control of water storage buildings in the lower reaches of the Muwenhe River in flood season, the fuzzy analysis method was applied to make the flood season staging based on the daily rainfall data from the three rainfall stations of Fanjiazhen, Beiwang and Dawenkou from 1980 to 2011. Meanwhile, the return period method was used to determine the flood grading on the basis of the annual maximum peak discharge data from the Beiwang station.

Key words: flood season staging; flood grading; fuzzy analysis method