



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.01.007

张健, 高云. 新一代水文模拟系统的流域嵌套式强化观测方案设计[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 39-42, 48. ZHANG Jian, GAO Yun. Application of a basin nested enhanced observation scheme[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 39-42, 48 (in Chinese)

新一代水文模拟系统的流域嵌套式强化观测方案设计

——以新安江水文水资源实验站改建项目为例

张健¹, 高云²

(1. 太湖流域管理局水文局, 上海 200000; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘要: 气候变化和高强度的人类活动对水文循环及其时空演变规律产生了重要影响, 原有研究成果已不能真实反映现代条件下的水文变化规律。作为概念性模型的代表, 新安江模型已不能适应变化环境下流域综合水文要素的模拟, 因此有大量应用基础研究工作亟需加强。为解决这一难题, 文章以新安江水文水资源实验站改建项目为例, 阐述嵌套式强化观测流域设计方案的应用, 在原有设施基础上, 嵌套增建了原型小流域及坡地水文综合要素观测场、嵌套式强化观测流域、水文综合实验与分析测试中心及远程接收中心。结果表明该设计方案能够有效的提升数据资源类型及涵盖面, 为发展新一代水文模型系统提供数据支撑, 为建设流域大气-水文-生态综合模型提供科学依据。

关键词: 嵌套式; 流域设计; 水文水资源实验站; 水文模型; 水资源管理

中图分类号: TV 11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)01-0039-04

Application of a basin nested enhanced observation scheme

——A case study on Xin'an river water resources experiment station

ZHANG Jian¹, GAO Yun²

(1. Taihu River Basin Management Bureau, Shanghai 200000, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China)

Abstract: Climate change and intense human activities have an important impact on hydrological cycle and its spatial and temporal evolution. The previous research results can no longer truly reflect the hydrological changes in modern circumstances. As the representative of conceptual models, the Xin'an river model is no longer suitable for the simulation of the comprehensive hydrological elements in the basin, so a lot of basic research work needs to be strengthened. To solve this problem, this paper takes the water resources experiment station of Xin'an river as an example, and expounds the application of the basin nested enhanced observation scheme in practice. Based on the original facilities, an integrated observation field for prototype basin and slope land hydrology, a nested enhanced observation basin, a center for comprehensive hydrological experiment, analysis and testing, and a remote receiving center will be newly nested. Results show that the scheme can effectively increase data resource types and expand coverage, provide data for both the development of a new generation hydrologic model system and the construction of an atmospheric hydrological ecological integrated model.

Key words: nested; basin design; hydrological and water resources experiment station; hydrological model; water resources management

收稿日期: 2016-01-30 修回日期: 2016-05-20 网络出版时间: 2017-01-03
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170103.2040.006.html>

作者简介: 张健(1963-), 男, 安徽凤阳人, 高级工程师, 主要从事水利信息化、水文水资源监测站网规划设计、建设管理工作。E-mail: zhjian@tba.gov.cn

通讯作者: 高云(1988-), 女(蒙古族), 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 主要从事农田水利灌溉、水文水资源建设管理工作。E-mail: gaoyun115@126.com

新安江模型是我国自主研发的水文模型, 得到国际水文机构和水利专业人士的认可, 被广泛应用于国内外水文预报的科研实践中。然而, 随着近二十年以来气候变化和流域内高强度的人类活动, 水文循环及其时空演变规律受到深远影响, 传统的新安江模型, 已不能完全适应变化环境下流域综合水文要素的模拟, 还需要进一步发展和完善^[1-5]。同时, 2011 年, 中共中央、国务院出台《关于加快水利改革发展的决定》, 明确提出要强化水文支撑, 加强水文基础设施建设, 2013 年新安江流域生态环境保护也上升到国家战略层面。但是目前新安江水文实验站的实验能力与新安江流域水资源与水生态保护国家战略要求差距较大, 气候变化和人类活动对水文循环要素影响日渐加剧, 作为概念性模型的代表, 传统新安江模型已不能适应变化环境下流域综合水文要素的模拟^[6-8]。

基于以上原因, 存在大量应用基础研究工作亟需加强, 主要表现在: 水文观测站网布设与调整需加强研究; 水文信息采集的自动化水平、新仪器、新设备的自主研发能力需提高等; 气候变化和人类活动强烈影响条件下的南方湿润地区水文学、流域水生态水文学、实验水文学、水文气象各监测要素之间的耦合和综合性分析等均需进一步加强研究^[9-14]。

因此, 进行嵌套式设计, 结合传统站点观测、遥感、大气模式再分析及数据同化系统技术^[15-20], 是发展新时期流域多尺度全要素水文过程模型的必然要求。本文通过分析新安江水文实验站嵌套式流域强化改建设计方案, 介绍新一代水文实验站的建设方向, 以期对未来揭示变化环境下南方湿润地区流域水文及伴生过程的变化规律, 发展新一代流域大气-水文-生态综合模型提供必要的数据库。

1 新安江水文水资源实验站概况

新安江发源于黄山市休宁县六股尖, 隶属于钱塘江水系, 地跨皖浙两省, 为钱塘江之正源, 是浙江省最大的入境河流。流域总面积 12 151.2 km², 经富春江、钱塘江在杭州湾入东海。新安江水文实验站是全国首批启动的“十二五”期间规划建设 3 个水文站之一, 是海河大学第一个省部级野外实验站。现有的月潭、新亭、屯溪水文站分别设立于 1958 年 12 月、1970 年 12 月和 1950 年 6 月, 在此基础上建立了水文水资源基本规律实验平台, 由土壤水分运动参数及其溶质运移模拟系统组成, 可进行水文循环过程中水文基本要素的实验研究, 积累了大量翔实可靠的水文基础数据。

然而由于建站时间久远, 仪器老化严重, 实验研究多为田间或点尺度的强化观测, 尺度小、不足以反映水文过程在不同尺度上的变异和联系, 尤其缺乏对“径流场-小流域-中尺度流域-区域”等多尺度嵌套式水文全要素的研究; 同时, 流域位于浙江、安徽交界, 流域内溪流纵横, 流域水系结构复杂, 水文控制站数量较少, 难以全面揭示入库径流及污染负荷的时空变化规律, 导致对入库水量的估算精度不高, 服务流域水资源管理红线监督和考核的科学水平有待提高, 实验研究基础与实验技术手段上都无法满足当前经济社会发展、气候变化和人类活动影响对水文科学研究提出的新要求。

因此, 改建新安江水文综合实验站, 建设“径流场-小流域-中尺度流域-区域”等多尺度嵌套式水文全要素观测系统就成了刻不容缓的要求, 同时也是系统开展变化环境下产汇流机制, 建立流域多尺度全要素水文模型, 以及提高服务新安江流域、太湖流域以及长三角经济发达地区流域水安全的重要保障。

2 嵌套式水文全要素观测方案设计

新安江实验站改建项目总体方案见图 1, 目前改建项目以“点-面”结合、“大-中-小”三级嵌套流域强化观测为主线, 以新安江模型理论方法为核心品牌, 在进行流域植被分布情况调查和土壤特性分析的基础上, 建设一个原型小流域及坡地水文综合要素观测场(溪口镇中和村)、一个嵌套式强化观测流域(屯溪以上)、一个水文综合实验与分析测试中心(黄山市甘棠镇) 以及一个远程接收中心, 构成一个以探索变化环境下流域水文水资源规律为目标的更为完善的新安江水文实验站, 研究变化环境下不同尺度流域水循环与物质(泥沙、污染物、生物)耦合机制, 发展新时期流域水文全要素过程模型, 其流域布局见图 2。

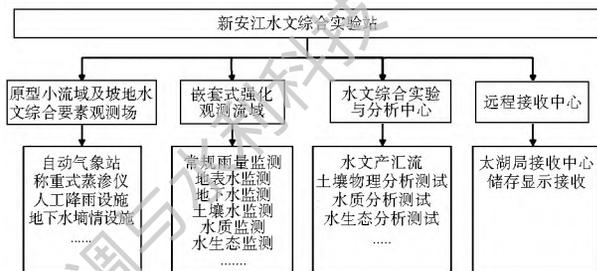


图 1 新安江实验站建设项目总体方案

Fig. 1 Overall scheme for the Xin'an River experiment station construction project

2.1 原型小流域及坡地水文综合要素观测场观测场布局见图 3, 拟建设 2 个地形、坡度和形



图 2 嵌套流域布局

Fig. 2 Layout of the nested basin

状不同的对比小流域(M1和M2)实验场,面积分别为0.35 km²和0.19 km²,以原型小流域为强化观测单元,建设阵列雨量站1处,雨量站、墒情站20个,地下水位观测井15个,流量监测量水堰4处,并在对应的地下水位观测井和量水堰布设19个水样

监测点,开展流域产流、产污、产沙、水生态及汇流机理综合实验。

在以上两个小流域实验场内,设计不同典型下垫面条件的天然坡面径流实验场2处(建设面积5000 m²,每个坡面规格为梯形构造,两底分别为65 m、35 m),建设土壤水FDR观测阵列各1处,建设壤中流、地表径流嵌套测流池各1处,开展坡面降雨径流实验,研究不同坡面的地表与壤中流过程;同时设计坡面人工降雨径流场2处(建设面积240 m²,其中设计降雨面积为200 m²,每个坡面5 m×20 m=100 m²),安装人工模拟降雨系统和地面径流监测配套系统设备1套,为了更好得应对模拟降雨时的要求,在以上设计内容基础上新建提水泵站、蓄水池和输水管道1套,建设土壤水FDR观测阵列各1处,地下水观测井各4处,研究垂向土壤不同深度的水分、地下水文过程,以及各个环节的相互作用机制。



图 3 原型小流域及坡地水文综合要素观测场布局

Fig. 3 The layout of the integrated observation field for prototype basin and slope land hydrology

2.2 嵌套式强化观测流域

根据项目建设目标,屯溪以上嵌套式强化观测流域按大小嵌套不同面积布设不同密度的雨量站点,呈村以上流域现有4个雨量遥测站,增加8个雨量遥测站;呈村至月潭区间现有4个雨量遥测站,增加9个雨量遥测站;新亭以上流域现有4个雨量遥测站,增加4个雨量遥测站;月潭、新亭至屯溪区间现有10个雨量遥测站,增加9个雨量遥测站,合计新增30个雨量遥测站;在月潭水库增设1个水面蒸发要素监测站,1个气象监测站;在流域有代表性的测点增设10个墒情观测站和10个地下水位监测站;恢复呈村水文站1个,在原型小流域附近的中和

村新建1个水文断面,各安装1套H-ADCP。具体嵌套式强化流域站网布局见图4。

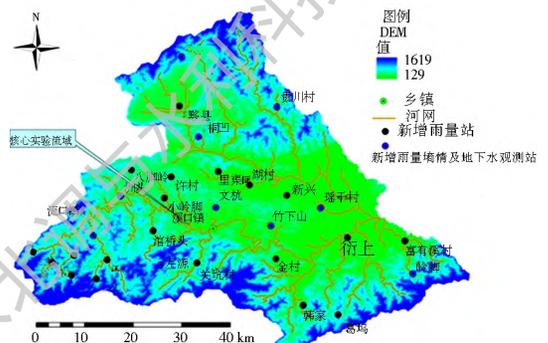


图 4 嵌套式强化观测流域站网布设

Fig. 4 The layout of the stations network in the nested enhanced observation basin

2.3 水文综合实验与分析测试中心

建设水文综合实验与分析测试中心, 对小流域进行精细化监测分析, 对水分和污染要素在土壤中迁移转化进行水质和同位素监测分析。水文综合实验与分析测试中心拟建于安徽省黄山市甘棠镇河海大学黄山培训中心, 主要由土壤分析室、样品预处理室、水质检测实验室、流域生态学实验室组成, 配备液态水和水汽同位素分析仪、土壤要素分析仪、实时荧光定量基因扩增 PCR 仪等 50 台套仪器设备。

2.4 远程接收中心

远程数据接收中心拟建于安徽省黄山市甘棠镇河海大学黄山培训中心, 数据共享形式如图 5 所示。拟架构流域水循环及相关信息一体化的采集与传输网络系统, 建立数据库, 配套应用软件系统, 实现实验站野外监测数据的接收、处理、存储、应用、共享等功能, 充分发挥实验站的价值。

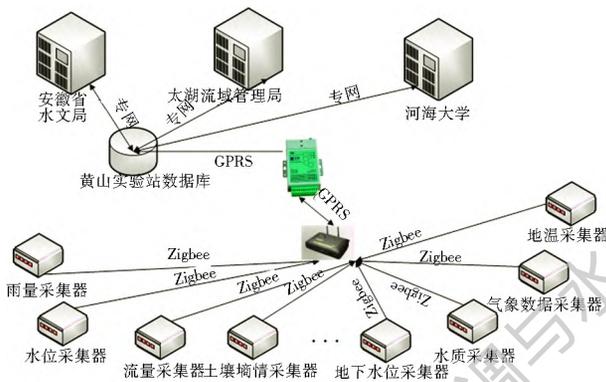


图 5 数据共享结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of data sharing structure

3 结论

在已有设施的基础上, 通过嵌套流域的强化原型实验, 揭示变化环境下南方湿润地区流域水文及伴生过程的变化规律, 结合传统站点观测、遥感、大气模式再分析及数据同化系统技术, 发展新时期流域多尺度全要素水文过程模型, 以新安江模型理论方法为核心, 以现代陆面过程模型和流域水文模型为框架, 发展新一代水文模型系统, 建设流域大气-水文-生态综合模型, 对于水文事业的发展具有重要意义。同时, 整个嵌套结构的各节点均利用无线网络进行连接, 实现了采集、上传、分析的自动化和智能化, 是未来水文水资源实验站发展的必由之路。希望在本实验站的嵌套式强化观测流域设计方案的实际应用, 能够为解决精确多尺度水文模型的建立, 提供一定的实际经验。

参考文献 (References):

- [1] 刘宁, 高波. 当代水利科技前沿[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (LIU Ning, GAO Bo. Contemporary water conservancy science and technology frontier. Chinese[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2006. (in Chinese))
- [2] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (RUI Xiao fang. The principle of hydrology. Chinese[M]. Beijing: Water Conservancy and Hydropower Press, 2005. (in Chinese))
- [3] 徐宗学, 李景玉. 水文科学研究进展的回顾与展望[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 450-459. (XU Zong xue, LI Jing yu. Progress in hydrological sciences: past, present and future. Chinese [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 450-459. (in Chinese))
- [4] 张金村, 芮孝芳. 分布式水文模型构建理论与方法述评[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 277-292. (ZHANG Jin cun, RUI Xiao fang. Discussion of theory and methods for building a distributed hydrologic model[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 277-292. (in Chinese))
- [5] Walter M T, Brooks E S, McCool D K, et al. Process based snowmelt modeling: does it require more input data than temperature index modeling? [J]. Journal of Hydrology, 2005, 300: 65-75.
- [6] Reel S, Koren V, Smith M, et al. Overall distributed model intercomparison project results[J]. Journal of Hydrology, 2004, 298: 27-60.
- [7] 张彦增, 秦建文, 乔光建. 河北省平原区水面蒸发量变化趋势及影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 63-65. (ZHANG Yan zeng, QIN Jian wen, QIAO Guang jian. Changing trends of water surface evaporation and its influencing factors in the plain area of Hebei province [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(4): 63-65. (in Chinese))
- [8] Michaud J, Sorooshian S. Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a mid-sized semiarid watershed [J]. Water Resources Research, 1994, 30(3): 593-605.
- [9] Beven K J. Linking parameters across scales: subgrid parameterizations and scale dependent hydrological models [J]. Hydrological Processes, 1995, 9: 263-282.
- [10] Beven K J. Changing ideas in hydrology: the case of physically based models [J]. Journal of Hydrology, 1989, 105: 157-172.
- [11] Woolhiser D A. Search for physically based runoff model a hydrologic El Dorado? [J]. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(3): 122-129.
- [12] Robinson J S, Sivapalan M. Catchments scale runoff generation model by aggregation and similarity analysis [J]. Hydrological Processes, 1995, 9: 311-330.
- [13] Koren V. Hydrology laboratory research modeling system (HL RMS) of the US national weather service [J]. Journal of Hydrology, 2004, 291: 297-318.

(下转第 48 页)

- comparative study of different hydrological model and their application in Broken Catchment[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2011, 36(4): 211-216. (in Chinese) DOI: 10.13718/j.cnki.xsxb.2011.04.007.
- [31] Carpenter T M, Georgakakos K P. Intercomparison of lumped versus distributed hydrologic model ensemble simulations on operational forecast scales[J]. Journal of Hydrology, 2006, 329(1): 174-185. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.02.013.
- [32] 董磊华,熊立华,万民.基于贝叶斯模型加权平均方法的水文模型不确定性分析[J].水利学报,2011,42(9):1065-1074. (DONG Lei hua, XIONG Li hua, WAN Min. Uncertainty analysis of hydrological modeling using the Bayesian Model Averaging Method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(9): 1065-1074. (in Chinese) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2011.09.002.
- [33] Hoteling J A, Raftery M D, Volinsky A E. Bayesian Model Averaging: a tutorial[J]. Statistical Science, 1999, 14(4): 382-401. DOI: 10.1214/ss/1009212814.
- [34] 夏军,王纲胜,谈戈,等.水文非线性系统与分布式时变增益模型[J].中国科学,2004,34(11):1062-1071. (XIA Jun, WANG Gang-sheng, TAN Ge, et al. Nonlinear hydrological system and distributed time variant gain modeling[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 34(11): 1062-1071. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1674-7240.2004.11.009.
- [35] Schaeffli B, Gupta H V. Do Nash values have value? [J]. Hydrological Processes, 2007, 21(15): 2075-2080. DOI: 10.1002/hyp.6825.
- [36] Pushpalatha R, Perrin C, Le Moine N, et al. A review of efficiency criteria suitable for evaluating low-flow simulations [J]. Journal of Hydrology, 2012, 420: 171-182. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.11.055.

(上接第 38 页)

- [15] Georgakakos K P. Analytical results for operational flash flood guidance[J]. Journal of Hydrology, 2006, 317: 81-103.
- [16] Georgakakos K P. Mitigating adverse hydrological impacts of storms on a global scale with high resolution, global flash flood guidance[A]. In: Abstracts Volume of International Conference on Storms/AMOS-MSNZ National Conference [C]. Australian Meteorological Society, Brisbane, Australia, 2004: 23-30.
- [17] USACE. HEG-HMS hydrologic modeling system user's manual [Z]. US: Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2001.
- [18] Daniele Norbiato, Marco Borga, Silvia Degli Esposti, et al. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins[J]. Journal of Hydrology, 2008, 362: 274-290.
- [19] Sperfslage J A., Georgakakos K P, Carpenter T M, et al. Central America Flash Flood Guidance (CAFFG) User's Guide. HRC Limited Distribution Report No. 21[Z]. Hydrologic Research Center, San Diego, CA, 2004: 82.
- [20] Efrat Morin, Yael Jacoby, Shilo Navon, et al. Towards flash flood prediction in the dry Dead Sea region utilizing radar rainfall information[J]. Advances in Water Resources, 2009, 32(7): 1066-1076.

(上接第 42 页)

- [14] Loague K M, Freeze R A. A comparison of rainfall runoff modeling techniques on small upland catchments[J]. Water Resources Research, 1985, 21(2): 229-248.
- [15] 张建云. 中国水文预报技术发展的回顾与思考[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 435-443. (ZHANG Jian yun. Review and reflection on China's hydrological forecasting techniques[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 435-443. (in Chinese))
- [16] Liu J T, Chen X, Zhang J B, et al. Coupling the Xinjiang model to a kinematic flow model based on digital drainage networks for flood forecasting[J]. Hydrological Processes, 2009, 23(9): 1337-1348.
- [17] Peng D Z, Xu Z X. Simulating the impact of climate change on stream flow in the Tarim river basin by using a modified semi distributed monthly water balance model[J]. Hydrological Processes, 2010, 24(2): 209-216.
- [18] Lin C A, Wen L, Lu G H, et al. Real time forecast of the 2005 and 2007 summer severe floods in the Huaihe river basin of China[J]. Journal of Hydrology, 2010, 381(1/2): 33-41.
- [19] 张东辉,张金存,刘方贵.关于水文学中非线性效应的探讨[J].水科学进展,2007,18(5):776-784. (ZHANG Dong-hui, ZHANG Jin-cun, LIU Fang-gui. Some comments on nonlinear effect in catchment hydrology[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(5): 776-784. (in Chinese))
- [20] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1065-1076. (SHEN Yong-ping, WANG Guo-ya. Key finding and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1065-1076. (in Chinese))