

基于 HIMS 模型的西营河流域河道内生态基流估算

商 玲¹, 李宗礼^{1,2,3}, 孙 伟⁴, 王中根³

(1. 甘肃农业大学, 兰州 730070; 2. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120;

3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 甘肃省水利水电勘测设计研究院, 兰州 730000)

摘 要:运用国内自主研发的 HIMS(Hydro-Informatic Modeling System)水文系统构建石羊河流域上游分支——西营河流域的分布式水文模型,模拟西营河流域九条岭水文站的径流量。以 1900—1999 年为率定期,以 2000—2004 年为验证期,月过程模型率定期和验证期分别为 0.81 和 0.85;使用 HIMS 模型模拟数据计算得到的河道内生态基流为 0.523 亿 m³,与其它方法计算得到的结果基本一致,说明使用 HIMS 模型研究生态基流的可行性,为石羊河流域的生态需水计算提出新方法,也为石羊河流域的水资源科学管理和合理分配提供理论依据。

关键词:HIMS 模型;生态基流;最小流量平均法;西营河

中图分类号:TV121⁺.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0100-04

Estimation of River Ecological Base Flow Based on Distributed Hydrological Model of HIMS

SHANG Ling¹, LI Zong-li^{1,2,3}, SUN Wei⁴, WANG Zhong-gen³

(1. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, Beijing 100120, China; 3. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China; 4. Investigation and Design Institute of Water Resources and Hydropower Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A case study is conducted in the Xiyang river which belongs to branch of Shiyang river, using a distributed hydrological model of HIMS which possesses domestic independent intellectual property rights and simulates runoff of Jiu Tiaoling. Both simulation and verification Nash-Suttcliffe efficiency coefficient of month process model reached to 0.81 and 0.85. A distributed hydrological model of HIMS was adopted to simulate runoff, the results of the calculation have shown that the ecological base flow was about 0.523×10^8 m³. These data show that the distributed hydrological model of Xiyang River based on the HIMS is suitable and ecological base flow based on a distributed hydrological model of HIMS is more reasonable than the values determined by other methods.

Key words: HIMS; ecological base flow; minimum average flow method; Xiyang river

石羊河流域是甘肃省河西走廊三大内陆河流域中水资源短缺和生态环境恶化最严重的流域,降水稀少,生态环境脆弱,也是我国内陆河流域中人口最密集、水资源开发利用程度最高、用水矛盾最突出、生态环境问题最严重的流域之一^[1]。现状流域水资源开发利用已严重超过其承载能力,致使流域生态环境日趋恶化,危害程度和范围日益扩大。生态需水是流域生态系统管理的根本,也是流域水生态环境恢复与保护的重要环节。为了科学、准确地计算生态需水量,许多学者借助同位素、GIS 和 RS^[2] 及分布式水文模

型^[3]等进行研究。其中,分布式水文模型的模拟领域已经涵盖了地表水与地下水计算、洪水预报、土地覆盖与土地利用变化对水文过程的影响评价、生态需水等方面的模拟计算等,具有理论上的前沿性和应用上的广泛性。

因此,有必要利用分布式水文模型开展对生态需水量的估算。科学合理地预测生态环境需水量,有利于实现流域水资源的合理开发利用、维持流域生态现状和恢复流域生态系统。本文基于物理机制的水循环模拟技术形成物理机制严格的水文模拟系统——

收稿日期:2013-05-03

修回日期:2013-07-06

资助项目:国家社科基金重大项目“我国河湖水系连通战略问题研究”(12&·ZD216)

作者简介:商玲(1987—),女,辽宁锦州人,硕士研究生,研究方向:水文水资源。E-mail:shangling0618@sina.cn

通信作者:李宗礼(1964—),男,甘肃武威人,博士,教授级高工,主要研究方向:水文水资源、水利水电工程。E-mail:lizongli@igsrr.ac.cn

HIMS 模型^[4],在验证此模型在西营河流域适用性的支撑下,利用最小流量平均法估算基础生态需水量,为石羊河流域的生态需水计算提出新的方法,也为其流域的水资源管理提供理论基础。

1 基于 HIMS 模型的流域生态基流计算

1.1 HIMS 模型原理

刘昌明等^[6]团队研发了水循环多元综合模拟系统 HIMS (Hydro-Informatic Modeling System)。HIMS 系统可以对水资源、水环境、水管理等问题进

行不同尺度的多元综合模拟,涉及水流域循环的几大过程,即降水、蒸散发、截留、下渗、坡面径流、壤中流、地下径流及河网调蓄等。其运行过程是基于河网的空间拓扑关系,系统综合考虑土地利用和土壤类型空间分布,将研究区域离散为若干个计算单元,除去蒸散发、截留、下渗过程中损失的降水量,每个计算单元里的水通过唯一的汇流河道全部流入下一个计算单元,通过产流、汇流关系的演算,最后求得流域各个计算单元及出口断面的径流量。HIMS 模型的单元结构见图 1。

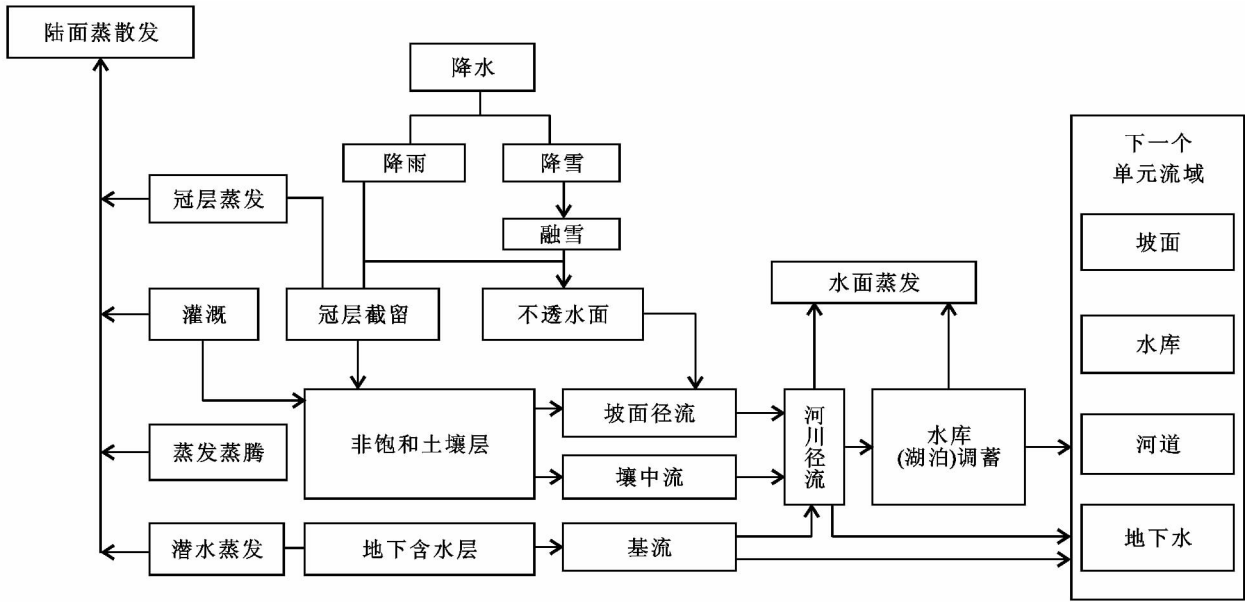


图 1 HIMS 系统的单元模型结构

1.2 基于 HIMS 模型的流域生态基流计算方法

生态基流是指维持河流生态系统最低生存和运转功能的基础流量,即为河道内的最小生态流量。目前,生态基流的计算方法很多,大致可分为水文学法、水力学法、栖息地模拟法和整体法 4 大类。国内较为常用的方法有 Tennant 法、逐月平均流量法、最小月平均流量法、90%保证率最枯月平均流量法。Tennant 法基于特定区域内河流流量的统计规律得出,对于季节性河流,同期均值比计算的年内枯水期生态流量小,结果趋于冒险。逐月平均流量保证率法不适用于计算季节性河流和小河流,这种方法主要适用于计算大中型河流以及有连续流量过程、水量丰富的河流。90%保证率最枯月平均流量保证率法主要用于计算污染物允许排放量,主要应用于许多大型水利工程建设的环境影响评价中。最小月流量平均法适合季节性河流和小河流,也适用于干旱内陆河流生态需水的计算。因此,本文采取最小月流量平均法计算西营河流域的河道内生态基本需水量。

目前,生态基流缺乏统一的定义和完善的理论方

2 基于 HIMS 模型的生态基流计算

2.1 西营河流域概况

西营河属内陆河石羊河水系,是石羊河最大的一级支流,发源于祁连山北麓的冷龙岭卡洼掌大雪山一带,源头海拔高达 4 870 m。西营河上游分为东西两支:东支宁昌河,自南向北流,长 45.8 km,源头海拔 4 500 m,平均坡降 2.48%;西支水关河,自西南向东北流,长 35.6 km,源头海拔 4 300 m,平均坡降 2.49%。东西两支在西营河林场处汇合,后折向东北流,沿程穿过九条岭煤矿区,并纳入东岸较大支流响水河,后在出山口处汇入西营水库,由水库调节后引

入各灌区或流向扇形河网。

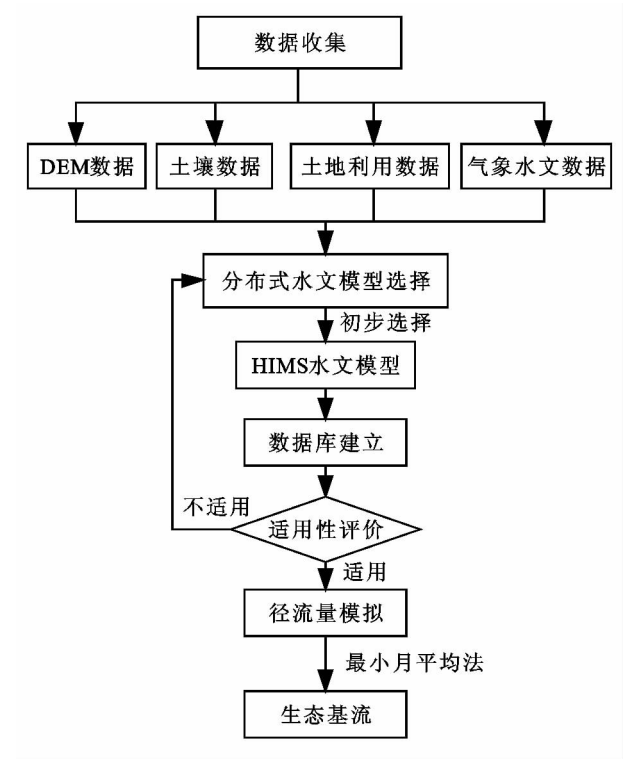


图 2 基于 HIMS 模型生态基流计算原理

2.2 HIMS 模型在西营河流域的适用性评价

本研究区以九条岭水文站所在断面作为流域出口位置,利用 ArcGIS 软件,根据水文站点的地理坐标和已生成的流域河网,确定流域出口,将研究区划分为 19 个子流域。根据子流域的土地利用和土壤数据,确定不同下垫面条件下的子流域的模型产流和汇流的参数初始值。采用西营河流域九条岭水文站点 1990—1999 年的水文数据率定模拟参数,采用 2000—2004 年水文数据进行模型验证。在率定和验证阶段,首先通过日径流量过程进行校准,然后进行月径流量校准,再通过计算体积误差、相关系数 R^2 以及 Ens 效率系数,评价模型的适用性(表 1)。

表 1 HIMS 模型模拟验证结果

目标 函数	率定期(1990—1999 年)		验证期(2000—2004 年)	
	效率系数	体积误差/	效率系数	体积误差/
	Ens	%	Ens	%
日过程	0.64	—2.0	0.67	—0.8
月过程	0.81	6.3	0.85	0.9

如图 3 所示,西营河站模拟流量过程线和实测流量过程线在总体趋势上比较一致,HIMS 系统对洪峰的模拟效果较好,中小洪峰模拟和实测过程线比较吻合。月径流过程率定期效率系数为 0.81,验证期效率系数为 0.85,体积误差分别为 6.3%和 0.9%;月径流过程率定期和验证期的效率系数均大于 0.8,表明

月径流过程模拟效果较好,能够满足水资源管理和洪水预测需要。

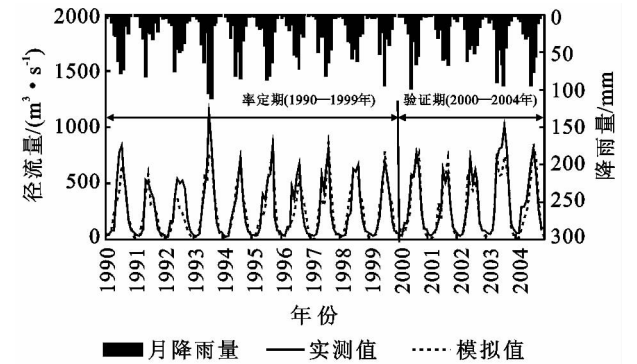


图 3 率定期和验证期九条岭站实测和 HIMS 系统模拟的月径流量过程线

2.3 西营河流域生态基流估算

肖玉成等^[6]基于 SWAT 分布式水文模型对赣江袁河流域中上游的河道内生态基流进行了计算,为了符合 Tennant 法对最小生态流量的评价标准,选取多年平均降雨量年份(平水年)降雨量的 20%产生的径流作为生态基流。本研究是以西北干旱地区的季节性内陆河石羊河支流为研究对象,Tennant 法、生态水力半径法、最枯月平均流量保证率法等季节性河流上适用性较差。

基于 HIMS 模型模拟 1990—2008 年西营河流域的日径流量,利用最小月流量平均法的计算公式(1)计算西营河流域的河道内生态基本需水量。

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{ij} \times 10^8) \quad (1)$$

式中: W_b ——河流基础生态环境年需水量; Q_{ij} ——第 i 年 j 月的月均流量; T ——换算系数($T = 3.154 \times 10^7$); n ——统计年限。

以月为时间步长,模拟西营河流域的径流量,将模拟的流域月径流量代入公式(1)中估算河道内基本生态需水量,计算得到西营河流域的基础生态环境年需水量为 0.523 亿 m^3 ,与目前西营河流域实际调度预留的生态及流量基本吻合。宋明伟等^[7]采用公式(1)利用石羊河流域实测数据计算得出西营河生态基流量为 0.532 亿 m^3 ,误差为—1.5%。说明基于水文模型 HIMS 的生态需水量的估算与实测数据比较吻合。

为了维系河流的基本功能,科学分析其生态基流的盈缺是非常重要的基础工作。基于 HIMS 模型估算得到的西营河河道生态基流为 0.523 亿 m^3 ,生态基流量占河道总径流量的 12.5%,河道的实际径流量可以满足河流生态基流。因此,基于 HIMS 模型估算西营河流域的生态需水量符合实际要求,可以作为

新的计算河道环境需水的方法,计算结果可靠、操作方便。

3 结论与讨论

第一次应用国内自主研发的 HIMS 模型,构建了西营河流域的分布式水文模型,并模拟了径流量及河流生态基流,验证了 HIMS 模型的适用性。HIMS 模型模拟与验证精度较高,月过程的模型率定期和验证期 Nash-Suttcliffe 效率系数分别为 0.81 和 0.85,日过程的模型测定期和验证期 Nash-Suttcliffe 效率系数分别为 0.64 和 0.67。以 HIMS 模型模拟的径流量,用最小月流量平均法估算得到河道生态基流为 0.523 亿 m³。通过对西营河流域的河道生态基流量的盈亏分析,表明西营河河流生态基流可以得到满足。因此,基于 HIMS 模型估算河道内生态基流的方法可以推广到石羊河其他子流域上,从而估算出石羊河流域河道内生态需水量,为石羊河流域的水资源管理提供科学依据。



(上接第 99 页)

[3] 郭建平,吴璞成,熊建安.洞庭湖水体污染及防治对策研究[J].湖南文理学报:社会科学版,2007,32(1):91-94.

[4] 贝荣塔,周跃,何敏.土壤中氮磷和滇池水体污染的潜在关系[J].西北林学院学报,2010,25(2):35-39.

[5] 李其林,魏朝富,李震,等.三峡库区坡耕地氮磷径流特征[J].土壤通报,2010,41(6):1399-1455.

[6] 王桂苓.巢湖流域麦稻轮作农田养分径流流失特征初步研究[D].合肥:安徽农业大学,2009:24-25.

[7] 李西祥,白红英,丁琪,等.黄土地区冬小麦田土壤理化性状、磷酸酶活性与氧化亚氮的排放[J].生态学杂志,2007,26(8):1187-1192.

[8] 王静,郭熙盛,王允青,等.巢湖流域不同耕作和施肥方式下农田养分径流流失特征[J].水土保持学报,2012,26(1):6-11.

[9] 彭树初,陈雄鹰,胡明勇,等.长沙市平原旱地土壤氮磷径流特征研究[J].湖南农业科学,2009(6):61-64.

[10] 焦平金,许迪,王少丽.汛期不同作物种植模式下地表

参考文献:

[1] 任建民,忤彦卿,贡力.人类活动对内陆河石羊河流域水资源转化的影响[J].干旱区资源与环境,2007,2(8):7-11.

[2] 郝博.基于 GIS 和 RS 的石羊河流域植被生态需水的时空分布规律研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.

[3] 万东辉,夏军,宋献方,等.基于水文循环分析的雅砻江流域生态需水量计算[J].水利学报,2008,39(8):994-1000.

[4] 吴梦莹,王中根,党素珍.基于 HIMS 的黑河上游山区径流模拟分析[J].资源科学,2012,34(10):1913-1921.

[5] 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.

[6] 肖玉成,董飞,张新华,等.基于 SWAT 分布式水文模型的河道内生态基流[J].四川大学学报:自然科学报,2013,45(1),85-90.

[7] 宋明伟,张仁涉,李宗礼,等.石羊河流域河流系统生态环境需水量概算[J].水土保持学报,2007,21(5):137-141.

[8] 径流氮磷流失研究[J].水土保持学报,2009,23(2):15-20.

[11] 郭鸿鹏,朱静雅,杨印生.农业非点源污染防治技术的研究现状与进展[J].农业工程学报,2008,24(4):290-295.

[12] Ryden J C, Syers J K, Harris R F. Phosphorus in run-off and streams[J]. Advance in Agronomy,1973,25:1-45.

[13] Summers R N, Guise N R, Smirk D D. Bauxite residue (red mud) increases phosphorus retention in sandy soil catchments in Western Australia [J]. Fertilizer Research,1993,34(1):85-94.

[14] 王晓燕,王晓峰,汪清平.北京密云水库小流域非点源污染负荷估算[J].地理科学,2004,24(2):227-232.

[15] 张丽萍,张妙仙.土壤侵蚀正态模型试验中产流畸变系数[J].土壤学报,2000,37(4):449-455.

[16] 冉大川,王宏,刘斌,等.黄河中游地区林草措施减洪减沙作用分析[J].水土保持研究,2003,10(4):141-143.