

# 不同流域水文模型在黄河源区的应用比较

孙利敏<sup>1</sup>, 王祥峰<sup>2</sup>, 杨雯<sup>1</sup>

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017;  
2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:** 以高寒气候区黄河源区为研究对象, 将 HBV 模型、TopModel 模型和新安江模型应用到该区域的水文预测中, 对比三种模型的应用效果。结果表明: 枯水年时, HBV 模型的模拟能力最好, 新安江模型其次, TopModel 最差, 丰水年时, HBV 模型的模拟能力最好, TopModel 模型次之, 新安江模型最差; 新安江模型和 TopModel 模型主要适用于湿润半湿润地区, 因此在高寒气候区黄河源区应用时的模拟精度不如 HBV 模型。

**关键词:** HBV 模型; 新安江模型; TopModel; 黄河源区; 应用对比

**中图分类号:** U661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0121—03

随着科技的高速发展, 人们用水文模型来量化进行流域研究变得越来越可行, 因此水文模型的发展和用受到了众多学者的关注。目前全球的水文模型很多, 水文模型的应用也很多, 但是进行水文模型应用比较的人却不是很多。王国庆等<sup>[1]</sup> 选用六个集总式流域水文模型 (AWBM 模型、SACRAMENTO 模型、TANK 模型、SMAR 模型、SMHYD 模型和 YRWBM 模型) 在清涧河流域延川站和子长站进行了日和月径流进行模拟; 陈小凤等<sup>[2]</sup> 在湖北省白莲河流域探讨 VIC 模型和 SWAT 模型在中小尺度的径流模拟的适用性, 并对比了两种模型的模拟结果; 谢帆等<sup>[3]</sup> 应用 TopModel 和新安江模型在息县以上流域的次洪进行了模拟对比; 江涛等<sup>[4]</sup> 则在东江流域研究了 6 个月尺度水文模型 (TM 模型、VUB 模型、WM 模型、SM 模型、新安江模型和郭生练模型) 在气

候变化条件下的模拟结果对比。因此我们可以看出, 目前水文模型的对比分析做得不是很多, 大多采用的是两个水文模型的对比, 或者是多个集总式或者月模型的对比。本文选用两个半分布式水文模型和一个分布式水文模型来作比较, 即 HBV 模型、TopModel 和新安江水文模型之间的比较。模拟流域选用典型寒区的黄河源区。

黄河源区是指唐乃亥水文站以上流域, 位于东经 95° 50' ~ 103° 30', 北纬 32° 10' ~ 36° 05' 之间, 控制面积 12 万 km<sup>2</sup>, 占黄河流域面积的 15.14%; 多年平均径流量为 204.17 亿 m<sup>3</sup>, 占整个黄河多年平均径流量的 38.15%, 为黄河主要产水区, 被形象地称为“黄河的水塔”。流域地势总趋势为西高东低, 平均海拔大约 4000m<sup>[5-6]</sup>。黄河源区的流域图见图 1。

## 5 结论

(1) 采平面二维水沙模型对引江济淮枞阳枢纽船闸引航道进行研究, 验证计算表明, 本文所建立的数学模型与实测资料吻合。

(2) 典型水沙条件模拟成果表明, 闸所在长江左汉呈现主槽冲刷, 滩地局部淤积的状态, 引航道局部冲刷来看, 船闸口门区呈现淤积状态, 引航道内各处的淤积厚度随离口门距离增加而递减。

### 参考文献:

- [1] 张羽, 杨朝辉, 赵集云, 丁梦霞. 弯曲河段船闸引航道通航水流条件模拟 [J]. 水运工程. 2022, (06): 132-138.
- [2] 吴惠国, 孙逸豪, 史英标, 郑国诞. 曹娥江清风船闸引航道通航水流条件 [J]. 水运工程. 2022, (04): 138-145.
- [3] 符蔚, 王能, 李志威, 胡旭跃, 沈小雄. 分汊河段船闸

引航道整治试验研究 [J]. 长江科学院院报. 2019, 36 (08): 17-22.

[4] 田辉. 船闸引航道口门区通航水流条件研究 [D]. 长沙理工大学. 2013.

[5] 谢鉴衡, 李义天, 吴伟明. 葛洲坝工程三江下引航道水沙运动数值模拟 [J]. 长江科学院院报. 1989, (03): 1-10.

[6] 周建军. 三峡工程引航道冲沙流量的合理规模 [J]. 泥沙研究. 1999, (03): 3-9.

[7] 胡向阳, 姚仕明. 三峡工程二期临时船闸引航道泥沙淤积研究 [J]. 长江科学院院报. 2001, (06): 7-10+14.

[8] 元媛, 张小峰, 梅志宏, 何永生. 北本水电站下引航道泥沙冲淤数值模拟 [J]. 中国农村水利水电. 2012, (01): 39-42.

[9] 周磊, 安瑞冬, 谭升魁, 李嘉. 水库异重流淤积成因分析及前锋运动规律 [J]. 水利水电科技进展. 2012, 32(02): 6-10.

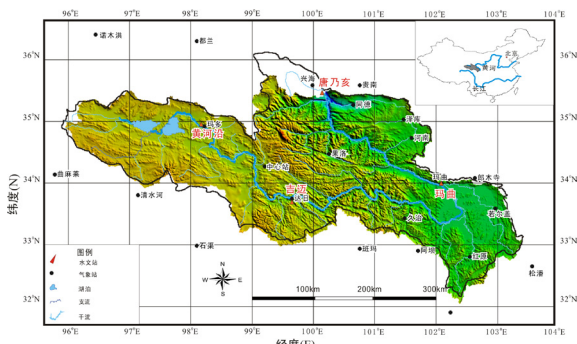


图1 黄河源区流域图

## 1 模型简介

### 1.1 HBV 模型

HBV(Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) 模型是一种模拟积雪、融雪、实际蒸散量、土壤水分储存、地下水埋深和径流等机制的概念性半分布式降雨径流模型。HBV 模型于 1976 年由 SMHI(Swedish Meteorological and Hydrological Institute) 研制, 模型目前已在 30 多个国家广泛应用, 更成为北欧一些国家径流研究的标准工具<sup>[7]</sup>。

HBV 模型按照海拔和土地利用以及其他一些情况可以划分子流域。应用概念性的方法计算每个流域的雪的积累和融化, 土壤湿度和径流。降雪过程采用度日法处理。土壤湿度的计算是在考虑降水和蒸发共同作用下实现的。径流生成是由实际土壤湿度和降水的非线性方程计算得到。在每个子流域尺度上不同流量成分的动力通过两个线性水库来概化。上层线性水库模拟的是表层流, 而下层线性水库代表了基流。两个线性水库通过一个常量渗透率来结合。最后应用一个转化方程来缓和化流量过程。转化方程是一个包含自由参数的三角形权重方程。流量的汇流过程采用马斯京根法<sup>[8]</sup>。

### 1.2 TopModel

TopModel (Topography based hydrological Model) 是 1979 年 Beven 和 Kirkb 提出的一种以地形为基础的半分布式水文模型<sup>[9]</sup>。它是基于 DEM 计算地形指数来反映水文响应特征。该模型的结构相对比较简单, 而且该模型参数较少, 主要包括产流参数、汇流参数、蒸散发计算参数和反映流域特征的参数, 每个参数都有具体的物理意义。

该模型以地形指数计算为核心, 利用地形指数进行产流计算。流域的产流计算包括不饱和层水分运动、饱和层出流(地下径流)和地面径流计算三个部分。河网的汇流计算则采用地表径流滞时函数和河道演算函数。

### 1.3 新安江模型

新安江模型是河海大学赵人俊教授 1973 年设计完

成的国内第一个流域水文模型。最初研制时是二水源模型, 后来又提出了三水源模型, 其普遍适用于我国湿润、半湿润地区。流域面积较小时, 模型按集总式结构计算, 而当流域面积较大时, 模型将流域划分为不同的单元进行计算<sup>[10-11]</sup>。

新安江模型是分散性模型, 分为四个层次进行计算: 蒸散发计算、产流计算、分水源计算和汇流计算, 不同层次之间是相互独立的。其蒸散发计算采用三层模型; 产流计算采用蓄满产流; 分水源计算采用自由蓄水水库结构将总的径流划分为地表径流、地下径流和壤中流; 流域的汇流计算采用的是线性水库法或者单位线法; 河道的汇流采用马斯京根分段连续演算或者滞后演算法。模型的主要特点是蓄满产流和马斯京根汇流的应用<sup>[10, 12]</sup>。

## 2 模型应用

### 2.1 率定期和检验期

本文采用黄河源区 1960 年到 2005 年进行计算, 其中 1960 年到 1986 年为模型的率定期, 1987 年到 2005 年为模型的检验期。由于 TopModel 和新安江模型是为湿润地区设计的, 其不考虑积融雪的过程, 而作为典型寒区的黄河源区, 其积融雪过程是不可避免的。因此此处采用度日法处理降水, 将降水划分为降雨和降雪。

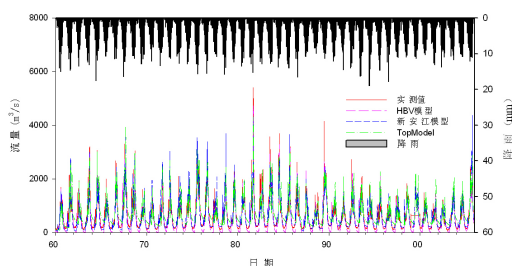
不同模型效率计算结果见表。由表 1 中模型率定期和检验期可以看出: 在该地区, 率定期 HBV 模型最好, 而在检验期是 新安江模型最好。总的来说在该流域应用三个水文模型得到的结果都是合理的, 其中新安江模型的模拟效果最好, HBV 模型次之, TopModel 的最差。

表 1 不同模型的率定期和检验期

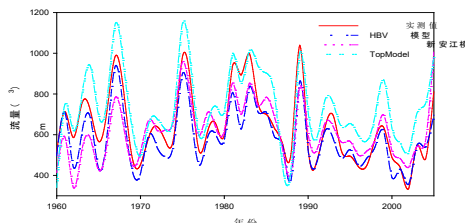
效率系数	率定期	检验期
HBV 模型	0.87	0.65
新安江模型	0.86	0.75
TopModel	0.78	0.57

### 2.2 日过程和年过程对比

不同模型的日过程和年过程模拟结果见图 2。从图 2 中可知 HBV 模型的模拟流量值普遍偏低, 而 Topmodel 的模拟结果相对偏高, 新安江模型的模拟结果从总体来看还是相对不错的。从年际变化上看, HBV 模型在模拟的初始时段即在 60 年代模拟结果比其它两个模型都好, 到 80 年代初期 TopModel 的模拟结果很好, 到模拟结束时的 21 世纪初期 HBV 模型的模拟结果也还不错, 其他时段的是新安江模型的模拟结果很好。总的来说, 可以得到的结论是: HBV 模型对于模拟的初始时段和结束时段的模拟结果相对较好, TopModel 对于峰值的模拟较好, 而从总体趋势上来看, 新安江模型的模拟结果更好。



(a) 日过程对比



(b) 年过程对比

图2 不同模型日/年过程模拟结果对比

### 2.3 效率系数对比

图3所示的是三个不同模型模拟的每年的效率系数值。图中蓝色的代表HBV模型,粉色的代表新安江模型,绿色的代表TopModel,填充斜线的是平水年,横线代表丰水年,点代表枯水年,综合分析三个模型我们可以发现,模型的模拟能力在枯水年较低,在丰水年最高。而分别对比每个模型在各年的模拟能力发现,其并没有明显的趋势。而通过典型年划分而得到的丰水年、平水年和枯水年的模拟情况对比不难发现,TopModel对于枯水年的模拟是较差的。研究时段的46年中有10年是枯水年,在这些枯水年中总是TopModel模拟结果最差,有几年的效率系数甚至出现了负值的情况。其中有6年HBV模型的模拟结果较好,剩余4年新安江模型的模拟结果较好,说明两者在枯水年的模拟能力是差不多的。11年的丰水年中,总是HBV模型的模拟结果最好,其中有7年新安江模型的模拟结果最差,剩余的4年是TopModel的模拟结果最不好。由此可以看出三个模型HBV模型对丰水年的模拟结果最好,而剩下的两个模型对比而言,TopModel对丰水年的模拟较新安江模型好。平水年的模拟结果则是千差万别,没有一个总体的趋势。

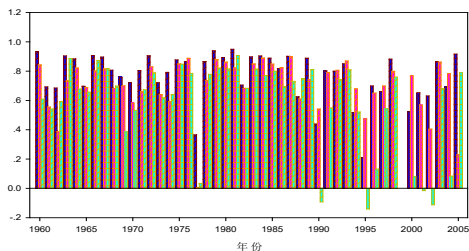


图3 不同模型各年效率系数对比

### 3 结论

综合上述分析可以得出:三个模型在黄河源区的模拟能力都可以接受,总体而言HBV模型的模拟能力最好,新安江模型其次,TopModel最差。这可能与HBV模型的设计是适用于高寒气候区,而新安江模型和TopModel是适用于湿润半湿润地区有关系。后两个模型的计算过程中,虽然将降水资料进行了处理,但是模型对不同气候条件的模拟能力还是存在较大的不同。而且TopModel在设计之初将DEM的网格大小限定在30m,由于研究区域面积较大,故将网格精度降低,此处用的DEM网格大小为1000m,这势必将影响模型模拟结果。对于枯水年的模拟,HBV模型的模拟结果较好,而TopModel的模拟结果较差。而从丰水年上讲则是TopModel的模拟结果较新安江模型的好。

#### 参考文献:

- [1] 王国庆,荆新爱,陈江南,等.流域水文模型在黄河中游清涧河流域的应用对比[J].灌溉排水学报,2005,24(003):53-56.
- [2] 陈小凤,张利平.基于VIC模型与SWAT模型的白莲河流域径流模拟对比研究[J].中国农村水利水电,2009,12:4-6.
- [3] 谢帆,李致家,姚成.TOPMODEL和新安江模型的应用比较[J].水力发电,2007,33(010):14-18.
- [4] JIANG T, CHEN YD, XU C, et al. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China[J]. Journal of Hydrology, 2007, 336(3-4): 316-333.
- [5] LI L, HAO ZC, WANG JH, et al. Impact of future climate change on runoff in the head region of the Yellow River[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2008, 13: 347.
- [6] 郝振纯,李丽,张磊磊,等.GCMs模式在黄河源区的适用性分析[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(001):7-11.
- [7] SEIBERT J. HBV light version 2 User's manual[J]. Stockholm University, 2005.
- [8] G TZINGER J, B RDOSSY A. Comparison of four regionalisation methods for a distributed hydrological model[J]. Journal of Hydrology, 2007, 333(2-4): 374-384.
- [9] 解河海.TOPMODEL的应用及参数不确定性研究[D].河海大学硕士学位论文,2006.
- [10] 包为民.水文预报[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [11] 赵人俊.流域水文模型—新安江模型与陕北模型[M].水利电力出版社.
- [12] 朱永安,张万昌.新安江模型在汉江江口流域的应用及适应性分析[J].水资源与水工程学报,2004,15(003):19-23.