

董立凡, 雷向杰, 王倩. HBV 模型在汉江流域的适用性研究 [J]. 陕西气象, 2016 (4): 23-26.

文章编号: 1006-4354 (2016) 04-0023-04

HBV 模型在汉江流域的适用性研究

董立凡¹, 雷向杰², 王倩¹

(1. 咸阳市秦都区气象局, 陕西咸阳 712000; 2. 陕西省气候中心, 西安 710014)

摘要: 利用区域气象资料、水文资料、土地利用资料, 运用 HBV 模型对陕西安康水电站上游汉江流域进行日径流深模拟并尝试确定致灾临界面雨量值。结果表明: HBV 模型在安康水电站上游流域具有较好的适用性, 在率定期模型对日径流深模拟的确定性系数为 0.84, Nash 效率系数为 0.72, 验证期确定性系数为 0.87, Nash 效率系数为 0.75; 通过安康水电站逐日水位资料, 根据不同基础水位, 确定了安康水电站上游流域 24 h 临界面雨量值, 此值可为水电站汛期防汛泄洪工作提供有益参考。

关键词: HBV 水文模型; 汉江流域; 径流深; 临界面雨量

中图分类号: P339

文献标识码: A

汉江发源于汉中的宁强县, 而后向东南先后穿越陕南的汉中、安康等市。陕南属于亚热带季风气候, 在汛期期间 (5—10 月) 受西南季风影响, 加上秦岭山地抬升作用, 往往易形成暴雨天气, 造成陕南地区的洪水灾害。近几十年来, 安康古城多次被洪水淹没, 其中最严重的一次洪灾出现在 1983 年 7 月 31 日, 洪水冲毁老城, 造成八百多人死亡, 经济损失高达 4.1 亿元。因此对安康水电站的入库流量预报预警研究具有十分

重要的意义。

预报洪水最有效的方法是运用气象、水利、水文以及包括土壤利用资料在内的地理信息等资料, 应用水文模型模拟, 最终确定入库流量。目前我国以集总式与全分布式水文模型运用较多, 但模型涉及参数较多, 调试不便。HBV 模型为瑞典国家水文气象局开发的一种半分布式水文模型, 具有模型简单、输入参数少、适合于大流域等优点。HBV 模型在国内已经得到广泛的运用,

收稿日期: 2015-02-29

作者简介: 董立凡 (1991—), 男, 陕西西安人, 学士, 助工, 从事短期预报工作。

基金项目: 公益性行业 (气象) 专项 (GYHY201306027-01)

- 布特征 [J]. 陕西气象, 2014 (1): 21-24.
- [7] 李明娟. 陕西致灾暴雨气象决策服务分析 [J]. 陕西气象, 2015 (1): 45-47.
- [8] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1993: 123-129.
- [9] 孙济良, 秦大唐, 孙翰光. 水文气象统计通用模型 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 56-64.
- [10] 丁裕国, 申红艳, 江志红, 等. 气候概率分布理论及其应用新进展 [J]. 气象科技, 2009, 37 (3): 257-261.
- [11] 尹文有, 郑皎, 王继红, 等. 年最大日雨量极值分布拟合与推算 [J]. 气象科技, 2011, 39 (2): 137-140.
- [12] 毛慧琴, 杜尧东, 宋丽莉. 广州短历时降水极值概率分布模型研究 [J]. 气象, 2004, 30 (10): 3-6.
- [13] 蔡敏, 丁裕国, 江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征 [J]. 高原气象, 2007, 26 (2): 309-318.
- [14] 高绍凤, 陈万隆, 朱超群, 等. 应用气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 124-129.

邱黎^[1]等通过比较 HBV 和 ANN (人工神经网络) 模型, 指出 HBV 模型对于洪水的物理过程反应更好; 靳晓莉^[2]等指出 HBV 模型通过参数区域化可以有效的应用于东江无资料流域的模拟; 刘义华^[3]等证明了 HBV 模型在玉树巴塘河流域具有很好的适用性; 樊静^[4]等利用 HBV 水文模型对开都河流域进行了模拟研究, 大量文献^[5-8]证明 HBV 模型在中国多数地区具有较好的适用性。但汉江流域陕南段地形复杂, 流域内山地峡谷盆地相互交错, 地形褶皱起伏, HBV 模型能否较好的模拟复杂山地地形洪水对降水的响应过程? 本研究尝试采用 HBV 模型来模拟复杂山地地形的水文过程, 即对安康水电站上游流域的日径流深进行模拟, 通过对比模拟结果与实际径流深数据, 最终确定 HBV 模型在安康水电站上游流域的适用性。为安康水电站入库流量预报预警、防汛泄洪提供有益参考, 为政府部门防灾减灾决策提供依据。

1 研究区概况

安康水电站位于陕西省安康市汉滨区上游的瀛湖风景区内, 距安康城西 18 km。坝址上游流域发源于宁强县境内, 流经勉县, 汉中汉台区、石泉、安康, 上游有褒河、胥水河、子午河、牧马河、月河等几条主要支流, 流域面积为 35 700 km², 多年平均流量 608 m³/s。

安康水电站上游流域属亚热带季风气候, 雨量丰沛, 年分布不均, 夏秋季径流相近, 各占 37%~40%, 春季径流占 16.6%~17.5%, 冬季仅占 5.0%~6.7%。流域地形以褶皱隆起的中低山区为主, 以峡谷与盆地相互交错, 属山地蜿蜒性河道, 水流湍急。

2 资料与分析方法

2.1 资料

资料采用安康水电站上游流域 10 个气象站 2009—2014 年逐日最低气温、最高气温、平均气温和降水量, 2009—2014 年安康电站逐日实测入库流量, 安康水电站上游流域 90 m 分辨率的数字高程、陕西土地利用表、土壤持水力等地理信息。

2.2 分析方法

HBV 模型为概念性、半分布式水文模型, 首先根据土地利用状况、海拔高度、降雨空间分布以及植被覆盖类型将流域划分为多个子流域, 然后根据气象站点降雨量插值结果、土壤持水力大小、汇流时间和流域地形模拟各个子流域的径流, 最后模拟汇流到流域总出口的径流过程。模型考虑了土壤蓄水量、上层土壤消退能力、下层土壤渗透能力以及蒸散估算、产流过程、汇流过程等因素, 较为客观的模拟了汇流形成流域出口断面的径流过程。

模型包括土壤模块、响应模块和汇流模块, 输出结果为模拟径流深数据。模型涉及 31 个参数, 其中敏感参数 6 个, 参数的每一次调整都会引起模拟结果的变化。为了确定模型的适用性, 对比 2009—2014 年实测逐日径流数据与模拟结果, 其中 2009—2011 年为率定期来确定参数; 2012—2014 年作为验证期, 反复验证模型对汉江流域的适用性。对模型的模拟结果与实际径流进行比较, 从而划分不同水位对应的临界雨量值。

模型采用 Nash-Sutcliffe 效率系数即 Nash 系数和确定性系数 (R^2) 对模拟效果进行率定和评价, 两个系数均反映了模拟结果和实测结果的吻合程度。一般来说 Nash 系数与确定性系数为 0~1, 越接近于 1, 模拟效果越好, 如果为负值说明模拟效果较差。

$$R^2 = \frac{(\sum(Q_o - \bar{Q}_o)(Q_s - \bar{Q}_s))^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2 \sum(Q_s - \bar{Q}_s)^2}$$

$$\text{Nash 系数} = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_s)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

式中: Q_o 与 \bar{Q}_o 代表观测值与观测值平均值, Q_s 与 \bar{Q}_s 代表模拟值与模拟值平均值。

3 模型模拟结果分析

3.1 模型敏感参数

HBV 模型认为无论何种形式形成的径流都是下垫面要素共同作用的结果。参数 BETA 反应了下垫面的蓄水能力, 决定了进入土壤的降水量, 与土壤类型和土地利用类型有关。研究区以山地地形为主, 模拟结果发现 BETA 值在 1~2 之间时模拟结果与实际情况相近, 能较好反应山

地地区土壤的蓄水能力。

模型将径流的形成概化为上下两层“水库”，由湿润土壤区中产生的水量都会被存储到上层水库中，在上层有水的前提下，水会向下渗透（向下渗透的能力参数为 PERC），研究发现 PERC 参数在 2.0~2.5 能较好反应研究区土壤渗透能力。当上层水库的蓄水量大于径流阈值时，上层多余水量会根据上层土壤的消退能力从表层出口流出，形成地表径流，而渗透到下层的水量根据下层土壤的消退能力形成基流部分。将不同敏感参数组合输入模型进行模拟，确定几个重要敏感参数参考值（表 1）。

3.2 率定期

将敏感参数的参考校验值输入 HBV 模型中，对比 2009—2011 年的模拟结果与实际径流

表 1 6 个敏感性参数及参考校验值

| 敏感参数 | 参数含义 | 参考校验值 |
|------|------------|-------|
| BETA | 土壤蓄水容量经验系数 | 1.000 |
| KUZ2 | 上层土壤快速消退系数 | 1.000 |
| UZ1 | 直接径流阈值 | 5.680 |
| KUZ1 | 上层土壤慢速消退系数 | 0.043 |
| PERC | 向下渗透能力 | 2.226 |
| KLZ | 下层土壤消退系数 | 0.031 |

深，采用逐一试错法调整几个敏感参数值对参数进行率定。图 1 给出了安康电站上游流域的径流模拟过程，可以看出经过率定后模拟径流深的确定性系数为 0.84，Nash 效率系数为 0.72。率定后的模型对流域日径流深的模拟效果较好，能较好的反应安康电站上游流域的水文过程。

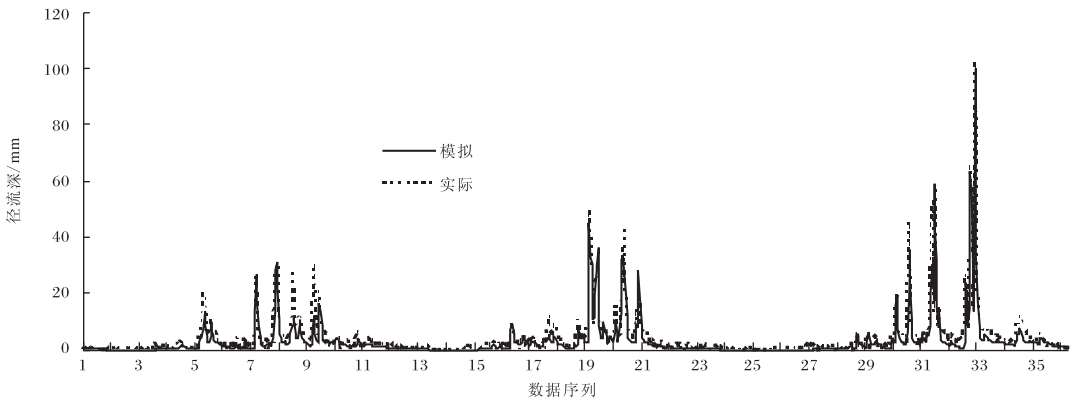


图 1 2009—2011 年汉江流域 HBV 模型径流深模拟结果与实况对比
(横坐标每 31 d 为一组，共 35 组数据，第 36 组为 11 d)

3.3 验证期

为进一步检验 HBV 模型对汉江流域的模拟

效果，利用 2012—2014 年的逐日气象、水文数据对模型适用性进行再次验证（图 2），对日径

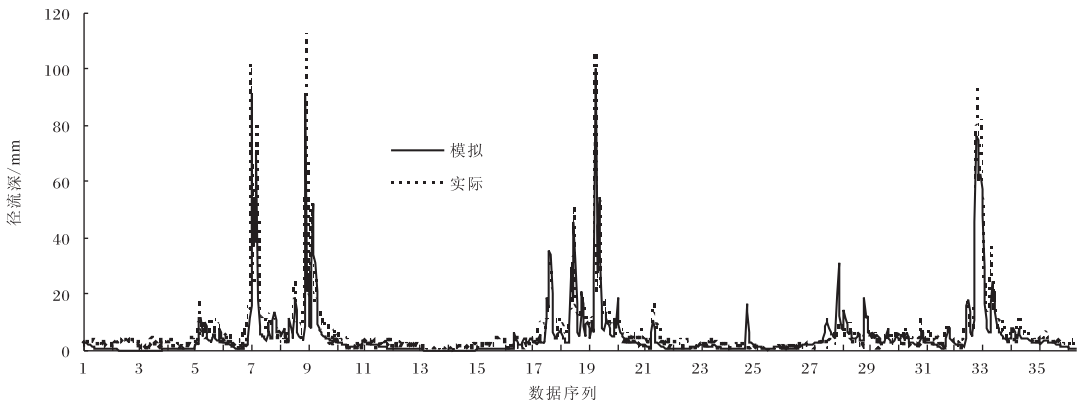


图 2 2012—2014 年汉江流域 HBV 模型径流深模拟结果与实况对比
(横坐标每 31 d 为一组，共 35 组数据，第 36 组为 10 d)

流深模拟的确定性系数为 0.87, Nash 效率系数为 0.75, 模拟出的水文过程与实际情况大致吻合, 可以看出率定后的模型对安康水电站上游流域具有很好的适用性, 尤其是对近几年的洪峰模拟与实际洪峰基本接近一致。但春季 4 月模拟结果不稳定, 研究发现研究区地处秦岭山与大巴山之间, 高山春季融雪可能是模型在 4 月模拟结果不稳定的主要原因。

4 临界面雨量确定

验证后的 HBV 模型可以反映降雨量和流量的定量关系, 根据安康水电站提供的水位库容关系可以确定流量和水位的关系。二者相结合最终建立降雨量、流量、水位三者之间的关系, 从而进一步可确定不同水位所对应的面雨量大小。

汉江流域致洪强降雨主要集中在汛期, 通过对历年洪水变化分析发现 24 h 降水量能更好的响应洪水过程, 因此划分 24 h 不同起涨水位下的临界面雨量较为客观。去除水电站每日正常发电因素影响, 安康水电站汛前起涨水位一般在 315 m 以上, 通过对多年洪水资料统计平均, 以 320 m 作为起始水位, 再以安康水电站汛前限制水位 325 m、正常高水位 330 m 作为临界水位, 得出前期不同起涨水位所对应的 24 h 临界面雨量值 (图 3)。

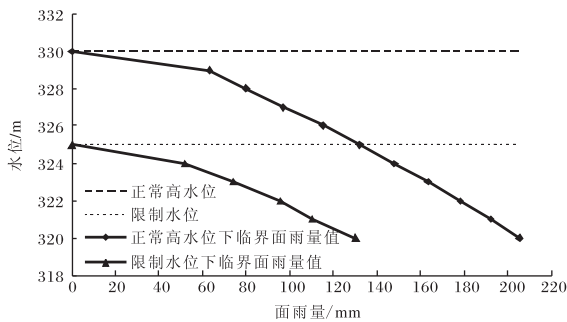


图 3 安康水电站不同起涨水位对应的 24 h 临界面雨量

5 结论与讨论

(1) HBV 模型在安康水电站上游流域具有较好的适用性, 模型模拟结果表明率定期模型对安康电厂模拟的确定性系数为 0.84, Nash 效率系数为 0.72, 模拟出的水文过程与实际情况基

本吻合。验证期模型的确定性系数为 0.87, Nash 系数为 0.75, 模型对洪峰过程的模拟与实际情况基本保持一致。

(2) 模型在 4 月左右的模拟结果不稳定, 总体较实际情况略偏大, 可能与春季高山融雪有关, 一定程度上影响了洪水模拟效果。

(3) 根据模型模拟结果可以建立水位、流量与雨量的关系, 可作为确定临界致灾雨量的一种有效方法, 为安康水电站汛期防汛泄洪工作提供一种有益的参考。

由于陕南地形具有本地的地域特色, 模型的敏感参数值也应随着实际情况慢慢调整, 随着今后汛期较大降水过程, 逐步去验证完善模型模拟结果的有效性。

参考文献:

- [1] 邱黎, 曹洁, 刘焕彬, 等. 基于 HBV 和 ANN 模型的沂河流域暴雨洪涝临界雨量确定方法研究 [J]. 山东气象, 2015 (2): 34-49.
- [2] 靳晓莉, 张奇, 许崇育. 一个概念性水文模型的参数区域化研究: 以东江流域为例 [J]. 湖泊科学, 2008, 20 (6): 723-732.
- [3] 刘义花, 鲁延荣, 周强, 等. HBV 水文模型在玉树巴塘河流域洪水临界雨量阈值研究中的应用 [J]. 水土保持研究, 2015, 22 (2): 224-228.
- [4] 樊静, 江远安, 陈颖, 等. 基于 HBV 模型的开都河致灾洪水临界雨量分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8 (6): 31-35.
- [5] 张世才, 褚建华, 张同泽. 祁连山区山洪灾害临界雨量计算分析和风险区划 [J]. 水土保持学报, 2007, 21 (5): 196-200.
- [6] 赵彦增, 张建新, 章树安, 等. HBV 模型在淮河官寨流域的应用研究 [J]. 水文, 2007, 27 (2): 57-59.
- [7] 李霖. HBV 水文预报模型及与之集成的水文模型系统介绍 [J]. 水利水文自动化, 2004 (2): 39-42.
- [8] 张建新, 赵孟芹, 章树安, 等. HBV 模型在东北多冰雪地区的应用研究 [J]. 水文, 2007 (4): 28-34.