

新安江模型在白云山水库日径流模拟的应用

虞慧^{1,2},李友辉³,孔琼菊¹,洪文浩^{1,2},喻蔚然^{1,2},谭幸⁴

(1. 江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029;2. 江西省水工程安全工程技术中心,江西 南昌 330029;
3. 江西省水利规划设计研究院,江西 南昌 330029;4. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:根据白云山水库所在富田流域的水文特性,采用新安江(三水源)模型进行日径流过程模拟,通过率定模型参数,将年径流误差的最优值作为目标函数进行反复调试,得出相对最优结果.在日模型率定期9年和验证期7年中,径流深合格率均为100%,模拟结果表明新安江(三水源)模型可用于白云山水库,该模型预报效果较好、精度高、合理可行,可供借鉴.

关键词:新安江模型;日模型;参数率定;最优值;径流深

中图分类号:TV121 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2017)04-0293-04

0 引言

新安江模型是1973年由河海大学的赵人俊教授汇集当时在产汇流理论方面的研究成果,并结合大流域洪水预报的特点,从而设计出新安江流域水文模型.自新安江模型提出后,新安江模型在湿润半湿润地区得到了广泛的应用.本文采用新安江模型模拟白云山水库坝址以上流域的日径流过程,进行全年的径流预报,检验新安江模型在白云山水库全年日径流连续计算的精度.

1 白云山水库概况

白云山水库位于江西省吉安市南部青原区和兴国县交界处的富田镇,距吉安市70 km.工程座落在赣江二级支流富田水上,坝址集雨面积464.0 km²,水库总库容10 769 × 10⁴ m³,设计灌溉面积12 173.33 hm²,实际灌溉面积8 666.67 hm²,是一座以灌溉为主,结合发电、防洪和水产养殖等综合利用的大(2)型水库.白云山水库枢纽工程主要建筑物有主坝、副坝、引水系统和电站等.

白云山水库所在水系富田水发源于兴国县良村乡西部的其林垌,自东南向西北流,经兴国县的竹管洞、吉

安县的黄沙水文站、白云山水库、富田、云楼、文陂,于青原区的值夏镇马埠从左岸汇入孤江.全流域面积794.0 km²,河道全长100 km,平均比降为2.18‰.流域地形以丘陵盆地为主,森林植被较好.流域内水系发达,河道蜿蜒曲折,多呈曲线形的连续弯曲.富田流域地处江西省中南部、赣江中游右岸,属亚热带季风气候区,气候温湿,四季分明,雨量丰沛,光照充足.受季风影响,每年4~6月极易形成长历时大范围的强降水,从而引发洪灾;7~9月受副高控制,天气晴热少雨,但有时受台风影响,亦有较短历时的强降雨发生;11月至次年3月受西伯利亚冷高压控制,气温低,雨量少^[1].

2 新安江模型简介

新安江三水源模型主要由四部分组成:(1)蒸散发计算,蒸散发分为上层WUM、下层WLM和深层WDM;(2)产流计算,模型的产流就是蓄满产流模型;(3)水源划分,采用自由水蓄水水库进行水源划分,水源分为地表、壤中、地下三种径流;(4)汇流计算,汇流分为坡面、河网汇流两个阶段.各个阶段所要用的参数见表1.

对划分好的每块单元流域分别进行蒸散发计算、产流计算、水源划分计算和汇流计算,得到单元流域出口的流程过程;对单元流域出口的流程过程进行出口以下

的河道汇流计算,得到该单元流域在全流域出口的流量过程;将每块单元流域在全流域出口的流量过程线性叠加,即为全流域出口总的流量过程^[2]。

表1 新安江模型各层次结构和相应参数表^[2]

层次	第一层次	第二层次	第三层次		第四层次	
功能	蒸散发计算	产流计算	水源划分		汇流计算	
方法	三层模型	蓄满产流	二水源 稳定下渗率	三水源 自由水 蓄水库	坡面汇流 单位线或线性水库 或滞后演算法	河道汇流 马斯京根及 滞后演算法
参数	K、WUM、WLM、C	WM、B、IM	fc	SM、EX、KI、KG	CI、CG、CS、L	KE、XE 或 CS、L

3 模型在白云山水库的应用

白云山水库所在富田水流域四季分明,雨量丰沛,属于半湿润地区,产流机制符合蓄满产流规律,因此白云山水库的洪水预报模型采用新安江(三水源)模型。根据相关规范要求,水文预报方案应使用不少于10年的水文气象资料^[3],因此,选用建库前的1965~1973年(用于模型参数的率定)和建库后的1977~1984年(其中1979年缺测,用于模型参数的检验)共16年资料来编制预报方案。受资料的限制,本次仅对日模型参数进行率定。

3.1 资料的分析采用

本项研究需要利用富田水流域的逐日降雨、逐日流量和逐日蒸发量资料,本次将利用3个水文站的流量资料、7个站的雨量资料,并借用邻近流域测站的蒸发资料。

(1) 流量资料

富田站位于白云山水库坝址下游约8 km,集水面积477.0 km²,1958年设站,1975年撤消,具有1965~1973年完整的逐日流量资料。黄沙站和东固站均为白云山水库入库站,集雨面积分别为202.0 km²和93.1 km²,分别具有1972~1992年,1976~1992年径流系列。根据黄沙+东固站径流系列采用水文比拟法

(面积比的一次方)可将其换算得到富田站逐日流量。模型参数的率定期和检验期选用富田站1965~1973年和1977~1984年的逐日平均流量资料。

(2) 雨量资料

富田水文站以上流域具有富田、安坛、白竹前、六渡、枫边、南龙和东固等7个雨量站。模型参数的率定期和检验期选用了上述7个雨量站的1965~1973年和1977~1984年的逐日降水量资料。对各站缺测的部分资料采用就近移用或相关移用。

(3) 蒸发资料

模型参数的率定和检验需要相应时间段的逐日蒸发量资料。赣江中下游测站无逐日蒸发量资料,故需借用同纬度、气候条件相似的邻近流域娄家村站相应时间段的蒸发量资料,娄家村站缺测部分的日蒸发资料需移用邻站(抚州站或廖家湾站)资料。

3.2 流域面雨量计算

根据以上雨量站点的分布情况,采用泰森多边形法确定每个雨量站所占的权重。泰森多边形法首先采用直线连接相邻雨量站,由此构成若干个三角形,再作每个三角形各边的垂直平分线,流域被垂直平分线分成n个多边形,流域边界处的多边形以流域边界为界,这样每个多边形内有一个雨量站,由此确定各个雨量站所占的权重^[4],成果见表2。

表2 雨量站权重表

站名	富田	安坛	白竹前	六渡	枫边	南龙	东固
权重	0.089	0.200	0.143	0.070	0.078	0.141	0.279

3.3 模型参数率定及确定

新安江模型参数的确定采用人工调试的手段来完成,这是一个优选目标成果的过程。在模型中输入降雨和蒸发资料,模拟日径流过程,将日径流误差的最优值作为目标函数,从而优选出蒸散发与产流参数^[5]。

3.3.1 各参数初值拟定

(1) 蒸散发参数:K、WUM、WLM、CK为蒸散发能力折算系数,为流域蒸散发能力与实测水面蒸发值之比。此参数对水量计算较为重要,控制着总水量平衡,是影响产流量最为重要和敏感的参数^[2]。一般K<1.00。

WUM为上层蓄水容量,它包括植物截留量。在植

被与土壤发育很好的流域,约为 20 mm;在植被与土壤发育较差的流域,其值要小些。

WLM 为下层蓄水容量,其值一般为 60 ~ 90 mm。在蒸散发计算中起主要作用的是 WUM 和 WLM。

C 为深层蒸散发系数,它与深根植物占流域面积的比数有关,该值越大,深层蒸散发越困难。在江南湿润地区 C 值一般为 0.10 ~ 0.20。

(2) 产流量参数:WM、B、IM

WM 为流域蓄水容量,是流域干湿程度的指标。WM 在模型中相对不敏感,在南方湿润地区 WM 值为 120 ~ 150 mm,半湿润地区 WM 值为 150 ~ 200 mm。

B 为蓄水容量分布指数。它反映单元流域上张力水蓄水分布的不均匀性,流域越大,B 值也越大。在山丘区,很小面积的 B 为 0.10 左右,中等面积的 B 为 0.20 ~ 0.30。

IM 为不透水面积占全流域面积之比,IM 为 0.01 ~ 0.02。

(3) 水源划分参数:SM、EX、KI、KG

SM 为自由水蓄水容量,其对地面径流起着决定性作用。当用日为时段长时,一般流域的 SM 值为 10 ~ 50 mm。

EX 为表层自由水蓄水容量曲线指数,它表示自由水容量分布的不均匀性。EX 值在 1.0 ~ 1.5 之间。

KI 为自由水蓄水库对壤中流的出流系数,KG 为自由水蓄水库对地下水的出流系数,这两个值是并联的,相互影响,KI 与 KG 之和为 0.7。

(4) 汇流参数:CI、CG

CI 为壤中流的消退系数。如无深层壤中流时,CI 趋于零。当深层壤中流很丰富时,CI 趋于 0.9。

CG 为地下水的消退系数。如以日为时段长,此值一般为 0.980 ~ 0.998。

3.3.2 模型参数率定

根据率定规则,调试时将相对误差最小为目标函数。拟定各参数的初值,经模型多次调试并验证确定的各参数值成果见表 3。

表 3 新安江日模型参数率定成果表

参数	参数值	参数	参数值
蒸散发能力折算系数 K	0.72	地下水出流系数 KG	0.3
不透水面积占比 IM	0.02	壤中流出流系数 KI	0.4
流域蓄水容量 WM	150	自由水蓄水容量 SM	50
上层蓄水容量 WUM	10	表层自由水蓄水容量曲线指数 EX	1.0
下层蓄水容量 WLM	70	地下水消退系数 CG	0.990
蓄水容量分布指数 B	0.20	壤中流消退系数 CI	0.6
深层蒸散发系数 C	0.10		

3.4 日径流模拟成果与分析

3.4.1 日径流模拟成果

依据 1965 ~ 1973 年和 1977 ~ 1984 年的逐日流量、降雨量和蒸发量资料,采用新安江三水源模型模拟日径流过程,优选模型参数,并采用表 3 中的模型参数对新安江三水源模型在白云山水库中的应用进行检验,9 年率定期和 7 年检验期日径流的模拟成果见表 4 和表 5。

表 4 率定期的日径流模拟成果表 mm

年份	雨量	实测径流深	计算径流深	绝对误差	相对误差/%
1965	1 321.59	800.88	766.99	-33.89	-4.23
1966	1 181.25	727.39	798.48	71.09	9.77
1967	932.50	484.44	521.32	36.88	7.61
1968	1 419.50	934.88	1 066.94	132.06	14.13
1969	1 384.19	913.59	874.57	-39.02	-4.27
1970	1 781.78	1 329.03	1 384.91	55.88	4.20
1971	874.54	417.55	403.55	-14.00	-3.35
1972	1 138.23	669.07	595.29	-73.78	-11.03
1973	1 635.80	1 193.86	1 163.41	-30.45	-2.55

表 5 检验期的日径流模拟成果表 mm

年份	雨量	实测径流深	计算径流深	绝对误差	相对误差/%
1977	1 102.47	725.25	856.14	130.89	18.05
1978	929.44	505.74	575.00	69.26	13.69
1980	1 548.24	1 063.97	1 118.71	54.74	5.14
1981	1 523.55	1 050.76	1 012.92	-37.84	-3.60
1982	1 334.49	841.67	896.71	55.04	6.54
1983	1 499.56	947.76	1 113.94	166.18	17.53
1984	1 494.58	867.84	1 014.21	146.37	16.87

3.4.2 日径流模拟成果分析

(1) 从表 4 和表 5 可知,率定期为建库之前的年份,检验期为建库之后的年份,将率定期的参数应用于检验期,率定期和检验期的成果误差均在 20% 以下,满足规范^[3]要求,从而证明本次成果基本合理。

(2) 从表 4 和表 5 成果可以看出,日模型率定期年径流深的最大绝对误差为 132 mm,相对误差有 2 年超过 10%,占总年数 20%;检验期年径流深的最大绝对误差为 166 mm,相对误差有 4 年超过 10%,占总年数 50%。在率定期的 9 年成果中,实测径流和计算径流两者的大值交替出现;在检验期的 7 年成果中,基本上是计算径流较实测径流值大。

(3) 从表 5 中的检验成果看,依据 1965 ~ 1973 年资料优选的模型参数,采用新安江三水源模型进行白云山水库日径流过程的预报,存在一定的误差。经分析,主

要原因如下:

①白云山水库预报方案受资料限制,部分雨量站资料不全,采取了移用资料的方法,造成资料不统一;②白云山水库流域的雨量站的密度不够;③建库后在一定程度上会造成产汇流条件改变,水库建成后水面面积增加,在模型中未考虑水面产流和陆面产流的区别。

3.5 参数调试的初浅体会

在日模型参数率定的过程中,K值即蒸散发能力折算系数是最为敏感的参数,在调试过程中需要不断地对其进行调试,本次率定在值为0.5、0.6、0.7以及0.8中反复试算,同时发现,相近的值的成果仍相差较大;WM即流域蓄水容量在120、125、130之间不断转换,但是对径流结果的影响不是特别明显;自由水蓄水容量SM参数变化范围也较大,同时需要和KG、KI进行联合调节。还有一点值得注意的是,在调试过程中需要仔细比对每一次调试成果的变化,在本次调试中就出现个别年份成果差异较大,通过对成果及数据的分析,降雨量和径流量的计算成果并不匹配,可能是由于部分年份的资料是移用他站所致,此时需要对数据及成果进行反复的分析和比较,切勿盲目调试。

4 结 论

(1)根据白云山水库流域特性,通过新安江模型对

白云山水库径流进行模拟,从率定成果上来看,率定期和检验期的成果都能满足规范^[3]要求,合格率达到100%,说明该水库流域可使用新安江模型。

(2)本次的率定期和检验期分别为建库前和建库后,建库前的参数与建库后一致,率定期和检验期的成果误差均小于20%,但大于10%的比例较高,需要进一步对误差进行分析,查找原因。模拟精度受众多因素影响及限制,如流域的水文站点分布、资料序列长度及完整性、流域的下垫面等方面的影响。

(3)本次受资料的限制,仅对径流进行预报,下一步欲搜集并完善更多的资料开展次洪模型的预报,进一步优化模型参数,验证优化成果,最终将成果应用于白云山水库。

参考文献:

- [1] 江西省吉安市白云山水库除险加固工程初步设计报告[R].南昌:江西省水利规划设计院,2011.
- [2] 包为民.水文预报[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [3] 水利部水文局.水文情报预报规范(GB/T22482-2008)[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [4] 詹道江,叶守泽.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [5] 刘金涛,冯杰.基于DEM的分布式汇流模型及其在洪水预报中的应用[J].水电能源科学,2005,23(5):11~13.

编辑:张绍付

Application of Xin'anjiang model in the simulation of daily runoff of Baiyun Mountain reservoir

YU Hui^{1,2}, LI Youhui³, KONG Qiongu¹, HONG Wenhao^{1,2}, YU Weiran^{1,2}, TAN Xing⁴

(1. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Engineering Technology Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China;

3. Jiangxi Provincial Design & Research Institute of Water Conservancy & Hydropower, Nanchang 330029, China;

4. Hydraulic and Hydroelectrical School, HOHAI University, Nanjing 210098, China)

Abstract: On the basis of the hydrological characteristics of Baiyun Mountain basin water reservoir of Futian, Xin'anjiang hydrologic model of three water sources was used to simulate the daily runoff process, by setting the model parameters, the optimal adjustment of the annual runoff error as the objective function, and obtain relatively optimal results. The flood forecasting model for Baiyun Mountain reservoir was established, daily model simulation results for Baiyun Mountain reservoir basin show that the percent of pass of annual runoff depth was 100% for the calibration data of 9 years and validation data of 7 years. The results show that Xin'an River (three water source) model can be used in Baiyun Mountain reservoir, the forecasting model has good effect, high precision and reasonable and it can be taken as reference.

Key words: Xin'anjiang hydrologic model; Daily model; Parameter calibration; Optimal value; Runoff depth

翻译:虞慧