

半干旱半湿润地区洪水预报模型适用性研究

刘郁¹, 赵兰兰², 马丁³

(1.河北工程大学,河北邯郸 056038;2.水利部水文局,北京 100053;
3.河北省水文水资源勘测局,河北石家庄 050031)

摘要:针对半干旱半湿润地区的流域特性和产汇流特点,比较了河北雨洪模型和新安江模型的模型原理和模型特性,以滦河支流老牛河流域为例,开展了洪水预报适用性研究。结果表明,河北雨洪模型的预报精度较高,更适用于半干旱半湿润地区的洪水预报。

关键词:河北雨洪模型;新安江模型;下渗;洪水预报;半干旱半湿润

中图分类号:P338 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2016)01-0032-05

1 引言

我国北方半干旱半湿润地区气候干燥,植被较差,日照时间长,蒸发量较大,降水量年内分配很不均匀,暴雨历时短、强度大,径流年际变化大^[1]。因此半干旱半湿润地区洪水预报是研究的难点和重点,专门应用于半湿润半干旱地区的流域水文模型相对较为缺乏。国内广泛应用的新安江模型由河海大学赵人俊教授于1973年提出,经过近几十年的发展完善,应用范围逐步扩大。河北省水文部门针对河北省下垫面条件和产汇流特点,提出了适合于半干旱半湿润地区流域水文模型——河北雨洪模型,目前主要在河北推广应用^[2-4]。为了验证河北雨洪模型的适用性,将河北雨洪模型和新安江模型同时应用于河北省滦河支流老牛河流域,以进行适用性研究分析。

2 模型介绍

2.1 河北雨洪模型原理与结构

河北雨洪模型将天然径流分为地表径流和地下径流两种水源,当降雨强度大于下渗强度时产生地表径流,下渗部分满足土壤缺水以后产生地下径流,两者经过流域汇流成为流域出口断面的流量过程,模型结构如图1所示。

2.1.1 产流原理

在半干旱半湿润地区包气带的中间带部分较厚,下渗的水分达不到潜水面,且下渗过程中下渗率逐渐变小,达不到稳定下渗率,影响下渗的是表层土壤含水量,因此河北雨洪模型根据陕北团山沟试验站实测的下渗曲线,建立了受控于表层土壤湿度的下渗曲线。由于半干旱半湿润地区流域下垫面的情况复杂,下渗能力差别很大,经资料验算选用抛物线型下渗能力分配曲线。将下渗曲线和流域下渗能力分配曲线相结合得到下渗曲线,采用该下渗曲线计算地表径流,再以时段下渗量利用流域蓄水容量分配曲线计算地下径流。

陕北团山沟下渗曲线:

$$f = Me^{-\alpha t} + f_c \quad (1)$$

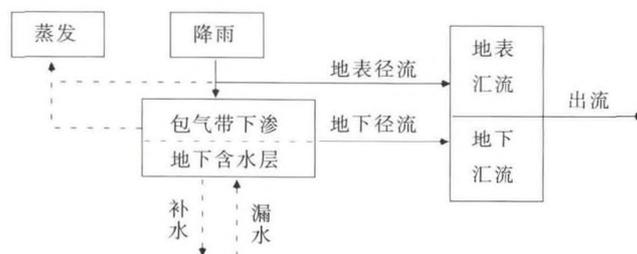


图1 河北雨洪模型结构图
Fig.1 The structure of Hebei storm flood model

收稿日期:2015-02-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41030636,41271040)

作者简介:刘郁(1990-),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为水资源规划与管理。E-mail:alice19901001@163.com

下渗能力分配曲线:

$$f_i = \beta \left(i - \frac{i^{1+n}}{f_m (1+n)} \right) \quad (2)$$

将公式(1)和(2)结合,得下渗曲线:

$$f = \left(i - \frac{i^{1+n}}{f_m (1+n)} \right) e^{-\mu i} + f_c \quad (3)$$

时段地表径流深:

$$R_s = P - \sum \bar{f} \quad (4)$$

时段地下径流量:

$$R_g = F + P_a - W_m + W_m \left(1 - \frac{P + P_a'}{W_m'} \right)^{b_0+1} \quad (5)$$

式中: \bar{f} 为时段平均下渗率(mm/h); f_m 为流域最大下渗率(mm/h); f_c 为流域稳定下渗率(mm/h); n 为下渗分配曲线的指数; μ 为反映下渗消退的速度的参数; F 为时段下渗水量(mm); W_m 为流域包气带平均最大蓄水容量(mm); W_m' 为流域最大点的蓄水容量(mm), $W_m' = (1+b)W_m$; b_0 为流域蓄水容量分配曲线的指数; P_a 为前期影响雨量; P_a' 相应于流域蓄水容量分配曲线上的纵坐标。

2.1.2 汇流原理

模型分别处理洪水波的传播作用和流域调蓄作用,将时段净雨或上断面的流量过程平移一个传播时间,再联解水量平衡方程和非线性蓄泄方程,求得流域出口或下游断面的流量过程,从而推导出一套洪水演进的线性汇流计算方法。汇流公式:

$$Q = \frac{I_t + DQ_{t-1} - 0.5Q_{t-1}}{DQ_t + 0.5} \quad (6)$$

$$D = A/(1-b) \quad (7)$$

$$A = A_0 F^{1/2} / \Delta t / 60 \quad (8)$$

式中: Q 为本时段的流域出流 (m^3/s); Q_{t-1} 为上一时段的流域出流 (m^3/s); I_t 为时段平均入流 (m^3/s); A_0 为汇流时间(min); b 为河道过水断面形状参数。

2.2 新安江模型原理与方法

三水源新安江模型蒸散发计算采用三层模型,产流计算采用蓄满产流模型,水源划分采用自由水蓄水库结构,流域汇流计算采用线性水库(见图2)。具体原理见文献^[5-6]。

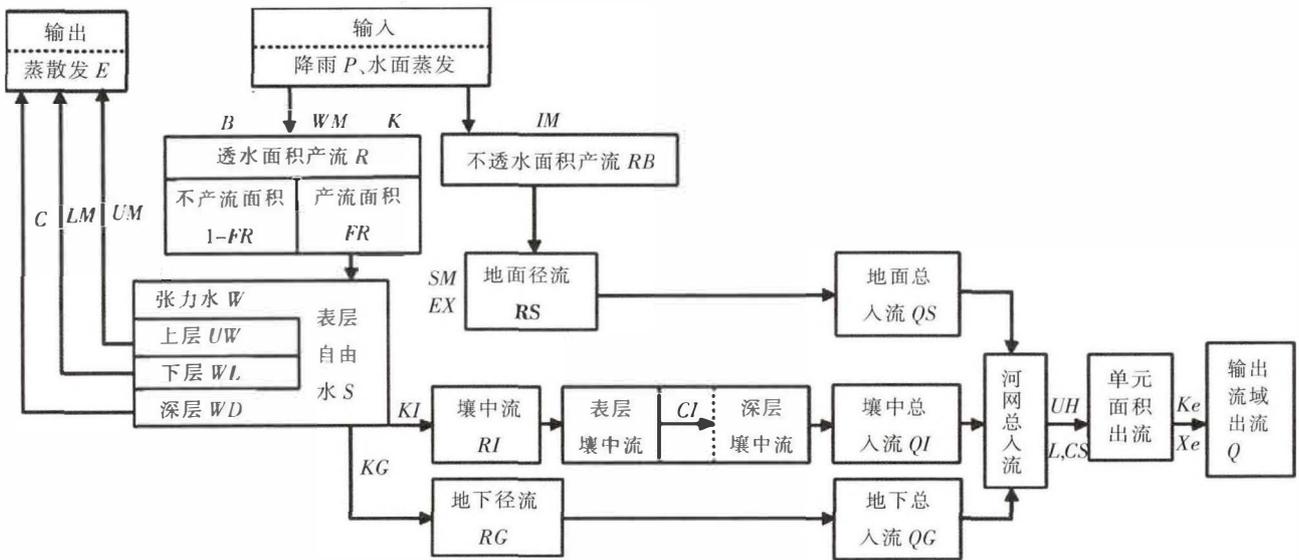


图2 新安江模型结构图
Fig.2 The structure of Xin'anjiang model

2.3 模型比较

从蒸散发机制来说,河北雨洪模型直接采用 E601 蒸发器皿的观测数据,做为陆面蒸发能力的近似值,并实验得出土壤含水量与土壤蒸发在一定范围内成正比关系,而当土壤含水量大于或接近田间持水量时土壤蒸发等于陆面蒸发能力。新安江模型流域蒸散发计算是按土壤垂向分布的不均匀性将土层分为三层,而没有考

虑流域内土壤含水量在不同地区分布的不均性。

从产流机制来说,河北雨洪模型的产流机制为“先超后蓄”,即降雨首先满足植物截留、填洼等初损,而后当降雨强度大于下渗强度时产生地表径流,入渗水量参与包气带水量的再分配,部分产生地下径流。模型结合河北省流域暴雨强度大,下渗小的特点,充分考虑了流域下渗能力分配的不均匀性,将陕北团山沟曲线与

抛物线型下渗能力分配曲线组合,创新地研制出了适合于本省的下渗曲线。新安江模型采用蓄满产流模式进行产流计算,模型采用蓄水容量—面积分配曲线来考虑土壤缺水量与蓄水容量的关系。

从水源划分来说,河北雨洪模型中考虑到半干旱半湿润地区一次降雨过程后,壤中流很少,产生的洪峰以地面径流为主,模型采用两水源模型,即把天然径流分为地表径流和地下径流两种水源。新安江模型采用三水源水源划分结构。

从汇流机制来说,河北雨洪模型采用非线性调蓄法进行汇流计算,充分考虑了汇流的非线性问题。新安江模型采用单位线法对地面径流进行汇流计算,采用线性水库对壤中流、地下径流进行汇流计算。

3 应用分析

3.1 流域概况

老牛河流域位于河北省滦河流域上游,河长73km,流域面积1615km²,属于半干旱半湿润地区。流域多年平均降水量547.0mm,年内降雨主要集中在6~9月,历史最大洪峰流量3570m³/s(1983年)。老牛河下游控制站为下板城水文站,下板城站以上流域无其他水利工程影响,可以完全利用河北雨洪模型和新安江模型进行模拟,以比较两种模型产、汇流机制的模拟精度。老牛河水系示意图见图3。

选用1994年的汛期(5月1日~10月1日)降雨径流资料进行模型适用性研究分析,该年共有3场洪水过程,分别为7月5~8日、7月12~20日、8月13~20

日。年内最大洪峰流量为953m³/s,列1967年有实测资料以来第二位。模型精度评定依据《水情报预报规范》(GB/T22482-2008)^[7]。



图3 老牛河流域及其水系
Fig.3 The Laoniuhe basin and the river network

3.2 模拟结果比较

由图4、图5及表1可知,河北雨洪模型模拟洪水过程线与实测洪水过程线更为吻合,模拟效果更好。得出结论如下:

在确定性系数方面,河北雨洪模型明显高于新安江模型。河北雨洪模型的确定性系数为0.973,新安江模型的确定性系数为0.860,均达到《水文预报情报规范》洪水预报乙级精度标准。

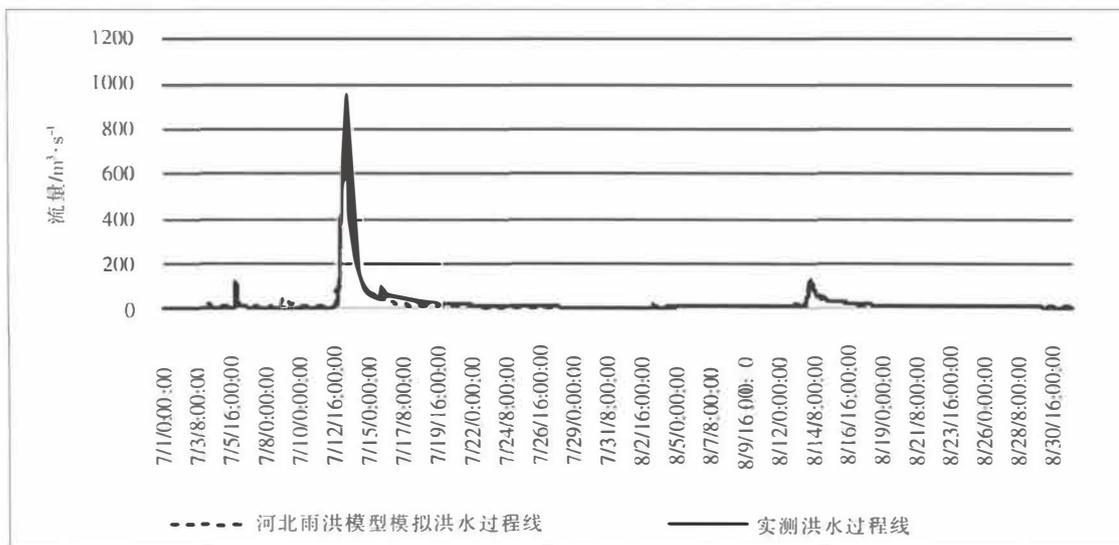


图4 河北雨洪模型模拟与实测洪水过程比较
Fig.4 The comparison between the Hebei storm flood model simulated and observed flood hydrographs

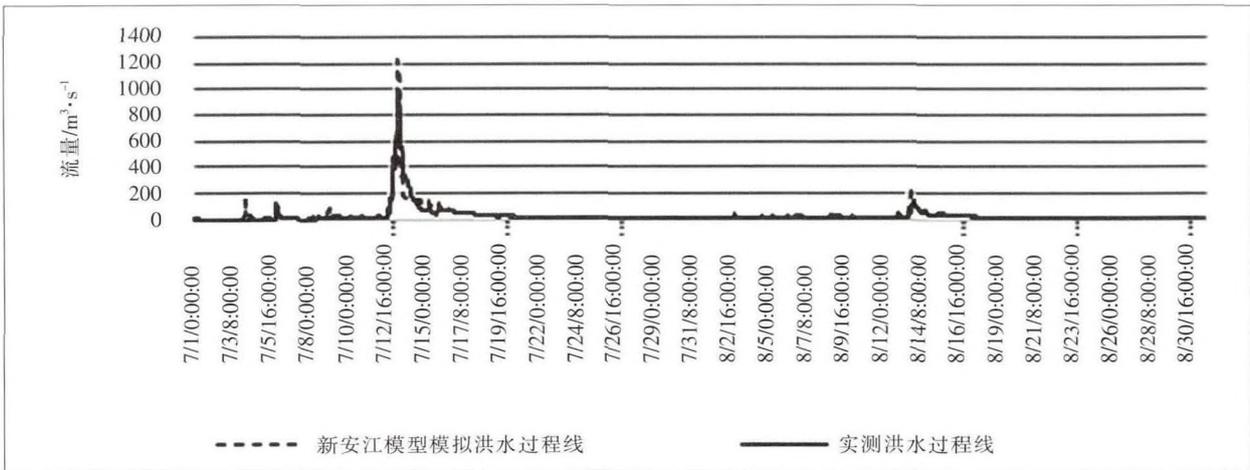


图5 新安江模型模拟与实测洪水过程比较

Fig.5 The comparison between the Xin'anjiang model simulated and observed flood hydrographs

表1 洪水过程模拟结果

Table1 The simulation results of the floods

模型类别	确定性系数	洪量			第一场洪水			第二场洪水			第三场洪水		
		实测值 /10 ⁶ m ³	模拟值 /10 ⁶ m ³	相对误差/%	实测值 /m ³ ·s ⁻¹	模拟值 /m ³ ·s ⁻¹	相对误差/%	实测值 /m ³ ·s ⁻¹	模拟值 /m ³ ·s ⁻¹	相对误差/%	实测值 /m ³ ·s ⁻¹	模拟值 /m ³ ·s ⁻¹	相对误差/%
河北雨洪模型	0.973	150	156	3.97	120	14	88.08	953	947	0.66	131	124	5.42
新安江模型	0.860		183	22.00		55	54.17		1230	29.07		228	74.05

在洪峰流量方面,河北雨洪模型模拟场次洪水的合格率更高。就第一场洪水来讲,两种模型模拟洪峰流量计算值均小于实测洪峰流量,结果较差且均超出规范允许误差范围。这是由于这场洪水为入汛以来的第一场洪水,植物截留和填洼等初期损失较为明显,模拟难度较大。之后的两场洪水,河北雨洪模型模拟洪峰流量计算值与实测洪峰流量相当,均在规范误差允许范围内,且模拟精度较高;新安江模型模拟洪峰流量计算值较实测洪峰流量都明显偏大,且均超出规范允许误差范围。这是由于第一场洪水洪峰过后,包气带的土壤含水量达到田间持水量,模型产流计算方面以蓄满产流为主,但实际产流过程中存在部分下渗,而导致计算洪峰流量明显大于实测洪峰流量。

在洪量方面,河北雨洪模型洪量模拟精度更高。河北雨洪模型模拟洪量值与实测洪量值相当,相对误差3.97%,在误差允许范围内;新安江模型模拟洪量值远远大于实测洪量值,相对误差22.00%,超出误差允许范围。这是由于老牛河流域土壤包气带较厚,冬、春季降雨量较少,造成包气带处于比较干燥状态,遇降雨强度大于下渗能力时往往一边产流,一边下渗。新安江模

型中主要考虑蒸发损失,而没有考虑下渗的水量损失,而导致模拟洪量明显大于实测洪量。且根据该年的径流系数0.18来判断,该地区属于混合产流区,河北雨洪模型根据陕北团山沟试验站实测的下渗曲线,建立受控于表层土壤湿度的下渗曲线,充分考虑了下渗因素,因此更适用于该地区,模拟效果较好。

4 结论

本文比较了河北雨洪模型和新安江模型的模型结构和产汇流机制,以老牛河流域为例,分别对1994年汛期洪水进行了应用比较。结果表明,河北雨洪模型的预报精度较高,洪峰流量、洪量误差均在允许范围之内,模拟结果明显优于新安江模型,更加适用于半干旱半湿润地区水文预报。但对于久旱后的第一场洪水模拟精度略差,预报工作中需进一步完善河北雨洪模型理论,为半干旱半湿润地区洪水预报提供有力的模型支撑。

参考文献:

[1] 李力. 半干旱半湿润流域洪水预报模型的研制及应用 [D]. 西安理工大学, 2009. (LI Li. Development and Application for Flood Forecasting Model of Semi-arid and Semi-humid Areas [D]. Xi'an University of Technology, 2009. (in Chinese))

- [2] 胡春歧. 河北雨洪模型[A]. 中国水文科学与技术研究进展[C]. 南京: 河海大学出版社, 2004:270-273. (HU Chunqi. Hebei storm flood model [A]. China Progress in Study on Hydrology Science and Technology [C]. Nanjing: Press of Hohai University, 2004:270-273. (in Chinese))
- [3] 胡春歧,张登杰,胡军波. 半分布式河北雨洪模型在黄壁庄以上流域的应用[A]. 水文水资源新技术应用[C]. 中国水利学会, 2006. (HU Chunqi, ZHANG Dengjie, HU Junbo. Application of semi-distributed Hebei storm flood model in basin above Huangbizhuang [A]. Application of New Technology in Hydrology and Water Resources[C]. Chinese Hydraulic Engineering Society, 2006. (in Chinese))
- [4] 冯秀英. 河北雨洪模型在水资源评价中的应用[J]. 河北水利水电技术, 2003,(1):29-31. (FENG Xiuying. The application of Hebei storm flood model in water resources assessment [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 2003, (1):29-31. (in Chinese))
- [5] 包为民. 水文预报 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (BAO Weimin. Hydrological Forecast [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [6] 张漫莉. 改进的 HBV 模型与新安江模型在武江流域洪水预报中的应用比较[J]. 人民珠江, 2014,(1):34-37. (ZHANG Manli. Application comparison between improved HBV model and Xin'Anjiang model in Wujiang River basin flood forecasting [J]. Pearl River, 2014,(1):34-37. (in Chinese))
- [7] GB/T22482-2008, 水文情报预报规范[S]. (GB/T22482-2008, Specification of Hydrological Information and Forecast [S]. (in Chinese))

Applicability Research on Flood Forecasting Models for Semi-arid and Semi-humid Areas

LIU Yu¹, ZHAO Lanlan², MA Ding³

(1. Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;

3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: According to the basin features and runoff characteristics, this paper compared the Hebei storm flood model and Xin'anjiang model in the model principle and structure. Taking the Laoniuhe River Basin as a case, an applicability study was made. The results show that the precision of the Hebei storm flood model is higher, and is more suitable to flood forecasting for the semi-arid and semi-humid areas.

Key words: storm flood model for Hebei Province; Xin'anjiang Model; infiltration; flood forecasting; semi-arid and semi-humid

(上接第 91 页)

- Electronic Instrumentation Customer, 2007,14(6):45-47. (in Chinese))
- [5] 张安. 流速仪检定车测控系统研究与设计 [D]. 南京: 河海大学, 2007. (ZHANG An. Research and Design of the Current Meter Examination and Determination System [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [6] 梁岚珍. 流速仪信号计算机采集系统的设计 [J]. 自动化仪表, 2003,23(9):38-39. (LIANG Lanzhen. The design of computerized acquisition system of flow velocity signal [J]. Process Automation Instrumentation, 2003,23(9):38-39. (in Chinese))
- [7] 李勇. 数字频率计的测量误差[J]. 宜宾学院学报, 2010,6(10):45-47. (LI Yong. Measurement errors of digital odometer [J]. Journal of Yibin College, 2010,6(10):45-47. (in Chinese))

Design of Signal Acquisition System of Current Meter

JIN Fuyi

(Hydrology Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)

Abstract: The paper introduced the principle of current meter calibration system, analyzed the characteristic and difficulty of signal sampling. Considering that the signal of current meter is easy to be distorted by external disturbance, this paper designed a signal conditioning circuit. According to various period of sampling signal of current meter, this paper compared and analyzed the error of frequency measuring method and period measuring method, so as to determine different software filtering methods in different speed range. The design was proved to be feasible and effective by simulation. And the design can improve the accuracy of the signal acquisition and the hardware design is realized on a single-chip platform.

Key words: signal acquisition of current meter; signal condition; error analysis