

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

刘义花¹, 鲁延荣², 周强³, 李昌玉⁴

(1. 青海省气候中心, 西宁 810001; 2. 青海省基础地理信息中心, 西宁 810000;
3. 青海省师范大学 生地学院, 西宁 801600; 4. 西宁市气象局 西宁 810001)

摘要:区域气象灾害的评估在防灾减灾中具有很重要的地位,它不仅是认识灾情、进行灾害区划、实行灾害预测、制定防治对策、进行损失评估、实施防治措施和进行项目管理的基础,对政府的辅助决策都具有重要意义。基于玉树县社会经济统计资料、水文资料、巴塘河洪水灾情资料的基础上,应用 HBV 模型尝试性的研究暴雨诱发的中小河流洪水临界风险雨量阈值研究,结果表明:1)近 11 a 来新寨站平均流量 $23.2 \text{ m}^3/\text{s}$,2001 年、2003 年、2005 年汛期流量较大,2006—2011 年流量明显偏少;2)在率定期 HBV 模型对新寨站日径流深模拟的确定性系数达 0.678 2, Nash 效率系数为 0.604 4,验证期确定性系数超过了 0.770, Nash 效率系数为 0.530 5;3)根据不同的基础水位,有效划分了 24 h 玉树巴塘河流域洪水面雨量预警指标,为今后玉树县巴塘河流域提高灾害防御能力提供研究基础。

关键词:巴塘河流域; HBV 水文模型; 洪水

中图分类号: P338

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)02-0224-05

Application of HBV Model to the Study on Risk Precipitation in Different Grades in Batang River Region

LIU Yihua¹, LU Yanrong², ZHOU Qiang³, LI Changyu⁴

(1. *Climate Center of Qinghai, Xi'ning 810001, China*; 2. *Qinghai Province Basic Geographic Information Center, Xi'ning 810000, China*; 3. *College of Life Science, Qinghai Normal University, Xi'ning 801600, China*; 4. *Xi'ning Meteorology Bureau, Xi'ning 810001, China*)

Abstract: The trend of extreme climate events has been analyzed by many researchers. Once it occurs, it maybe cause serious influence, so it becomes more and more important to research meteorology disaster, which can not only help us know disaster, conduct disaster forecast and loss assessment, but also help government to solve the problems. The module of runoff was simulated using a hydrological model(HBV) based on meteorological data, land use, hydrological data and Dem of Batang river region. The results of simulated runoff depth were verified. The results showed that: 1) the average runoff is $23.2 \text{ m}^3/\text{s}$ in recent 11 years in Xinzhai station, the runoff volumes in flood season in 2001,2003 and 2005 were greater, but the runoff volumes became less from 2006 to 2011; 2) the coefficients of determination and NASH were 0.678 2, 0.604 4, respectively, in the calibrated period, and were 0.770 and 0.530 5, respectively, in the verification period; 3) the warning critical rainfalls triggering runoff at different water levels were calculated using HBV model in order to reduce losses resulting from the flooding disasters.

Keywords: Batang river region; HBV model; mudflow

IPCC 第四次评估报告指出^[1],全球变暖导致极端事件频发,虽然极端事件是小概率事件,但是一旦发生将对自然和社会产生严重影响。在全球气候变暖的大背景下,青海牧区表现出温度升高、降水变率加大的区域响应,造成干旱、雪灾、暴雨洪涝等极端天

气气候事件、气象灾害加剧,青藏高原是气候和生态环境变化的敏感区域和脆弱地带,通过加强青藏高原气象灾害特征和气象灾害风险技术的研究,可提高对气象灾害、灾害风险意识,提高灾害预测预报水平,为政府和公众提供准确的预报和服务,为制定农牧业发

展战略,进行正确的农牧业决策,采取有效措施抗御自然灾害与保持农牧业的高产和稳产提供理论依据。根据1984—2007年青海省气象灾害统计,冰雹、干旱灾害年均造成农业作物受灾面积 400 km^2 以上,暴雨洪涝、雪灾、霜冻灾害所造成的农业作物受灾面积也较大,分别为 $52.59, 41.67, 85.87\text{ km}^2$ ^[2]。因此,通过各种技术和方法有效提高中小河流洪水、山洪地质灾害风险评估和风险区划能力,为青海省暴雨诱发的中小河流洪水、山洪地质灾害气象风险预警服务提供科技支撑。

国内外针对临界雨量阈值方面的研究主要有:何思为等^[3]应用四个水文模型对黑河流域上游进行了研究对比,张建新等^[4]应用HBV模型开展对东北地区多冰雪地区洪水预报的研究,段生荣^[5]以黄河流域大通河支流为例应用统计方法研究临界面雨量,张世才等^[6]通过实际灾情研究祁连山区山洪临界雨量并对该地区做了风险区划。目前国内外学者对青藏高原的生态环境变化做了大量研究,但是在气象灾害风险评估方面的研究处于起步阶段。笔者查阅大量文献^[7-11],发现针对青藏高原暴雨诱发的中小河流洪水临界雨量研究较少,多采用统计方法,本研究尝试性的采用HBV模型,通过对模型输入区域水文资料、土地类型资料、气象资料,从而直观对比水文站观测数据与模型模拟数据之间的差异,旨在为青海省玉树巴塘河流域洪水预警提供具有客观、科学性的临界阈值,为今后巴塘河流域风险预警提供科学技术支撑。

1 研究区概况

巴塘河为通天河右岸一级支流^[7],位于青海省玉树藏族自治州玉树县境内,因流经巴塘盆地而得名,巴塘河发源于格拉山北日阿如东寨以东 4 km 处,源流向北穿过峡谷进入巴塘盆地,纳支流扎巴曲后始称巴塘河,后又进入峡谷北上至玉树县城结古镇,最终汇入通天河。巴塘河全长约 92 km ,流域面积 $1\,793.9\text{ km}^2$,海拔 $2\,778\sim 5\,672\text{ m}$,径流补给以降水为主,玉树县年平均气温 3.8°C ,年降水量为 484.6 mm ,流域内土地类型以林地、草地、裸岩石砾地为主。从天气学角度来看,巴塘河流域暴雨以中小尺度天气系统为主,降水过程一般历时短,强度大,再加上地形起伏度较大,因此一旦形成洪水,对农牧业设施以及人类的生命财产安全带来严重威胁。

2 研究方法简介

2.1 模型原理

HBV水文模型是瑞典国家水文气象局开发研制,

基于DEM划分子流域的半分布式的概念性水文模型。多种情况下模型误差小于 20% 。模型很简单,非常适用于大流域。模型不同版本已在全世界40多个位于不同气候区的国家,如瑞典、津巴布韦、印度、哥伦比亚和中国等国家的洪水预报、水资源评估、营养盐负荷估算等领域得到广泛应用。HBV-D模型,由德国PIK研究所Krysanova.V博士改进。HBV-D模型由气候资料插值、积雪和融化、蒸散发估算、土壤湿度计算过程、产流过程、汇流过程等子模块组成。该版本模型具有汇流时间模块,分别模拟各子流域的径流过程,后经过河道汇流形成流域出口断面的径流过程,模型应用相对简便,输入数据主要是研究区DEM、日均气温、降雨、土地利用、土壤最大含水量和河流汇流时间等参数,通过模型中实际径流量与模拟值得比较,从而有效划分了不同水位临界高度下的洪水临界雨量值,以此达到巴塘河流域洪水预警的目的。

2.2 风险雨量计算方法

流域内发生不同等级的洪水,洪水汇集到河流中达到一定水位高度所对应的某时段的降水量即为该淹没等级的风险雨量,本研究中把水文站达到警戒水位、保证水位、堤防高度时的雨量分别做为三个等级的风险雨量。通过HBV模型模拟研究时间段径流深度以及观测流量和水位、水位和研究区面雨量的关系,划分出研究区不同基础水位下临界面雨量的阈值。

2.3 水文要素的变化特征

新寨水文站是巴塘河的观测水文站,现已收集到2001—2011年逐日水位和流量资料,因2007年以前的水位基面跟后期的不一致,因此,在建模的时候涉及基础水位跟流量建立关系的时候,只考虑2007年水位和流量的变化关系。从新寨水文站流量图上来看(图1),近11a来新寨站平均流量 $23.2\text{ m}^3/\text{s}$,每年汛期6—9月流量达到峰值,2001年、2003年、2005年汛期流量较大,直至2006—2011年流量明显偏少,从水文站水位的变化来看,2011年汛期,有2次洪水过程达到警戒水位,有1次洪水过程达到保证水位,玉树县是半农半牧的地区,水文站的流量明显变化与水文站的调蓄作用比较密切。

3 HBV模型的应用

3.1 径流深度模拟结果

利用水系、DEM等地理信息,采用GIS和水文分析技术提取了巴塘河流域的范围、流域中心点,基于R雨量插值软件和流域内气象站观测数据,得出2000—2011年流域面雨量的逐日变化序列,因在每一次暴雨过程中,降雨径流关系极为复杂,因此模型

通过土壤持水力以及土壤类型、汇流到子流域出口的时间来共同模拟每一次洪水过程。在模型运行之前,需要修改研究流域的面积,模拟的时间段,模型中涉及 31 个参数,因此对每个参数敏感性分析具有重要意义,模型中相关参数每调整一次,模拟结果会发生明显变化,因此用确定性系数和 Nash 效率系数验证模型的稳定性和可靠性,该方法用来解释模型的误差,最终的目地是为了确定性系数和 Nash 效率系数达到 0.5~0.9,以此来验证模型拟合的效果,如果模型中调参不合适,那么 Nash 效率系数是负值,模拟的径流深度和实际观测值的拟合效果偏差较大,基于此,对其中 5 个参数进行了多次调整和敏感性分析(表 1),将这些参数的不同组合输入到 HBV 水文模型,率定后的 HBV 模型对新寨站日径流深模拟的确定性系数达 0.6782, Nash 效率系数为 0.6044(图

2a),尤其是 2002 年以来的模拟值与实际观测值的拟合程度较好,能够准确捕捉每次洪水过程,模型模拟的结果与实况较一致,能够很好地模拟出巴塘河流域的日径流过程。为进一步检验 HBV 模型效果,使用 2007—2011 年逐日气象、水文资料对巴塘河流域的预报效果进行了检验(图 2b),可以看出经过率定后的 HBV 模型在巴塘河流域具有很强的适用性,对新寨站逐日径流深模拟的确定性系数超过了 0.770, Nash 效率系数为 0.530 5,模拟出的水文过程线与实际基本吻合,很好的预报出了洪水对降水的响应过程,尤其是 2007 年、2010 年、2011 年以来每年的日径流深度的拟合效果接近实际,以此为依据,来确定洪水发生时达到不同高度的临界面雨量是具有意义,并为科学、客观预测强降水对当地造成何等风险提供科学技术支撑。

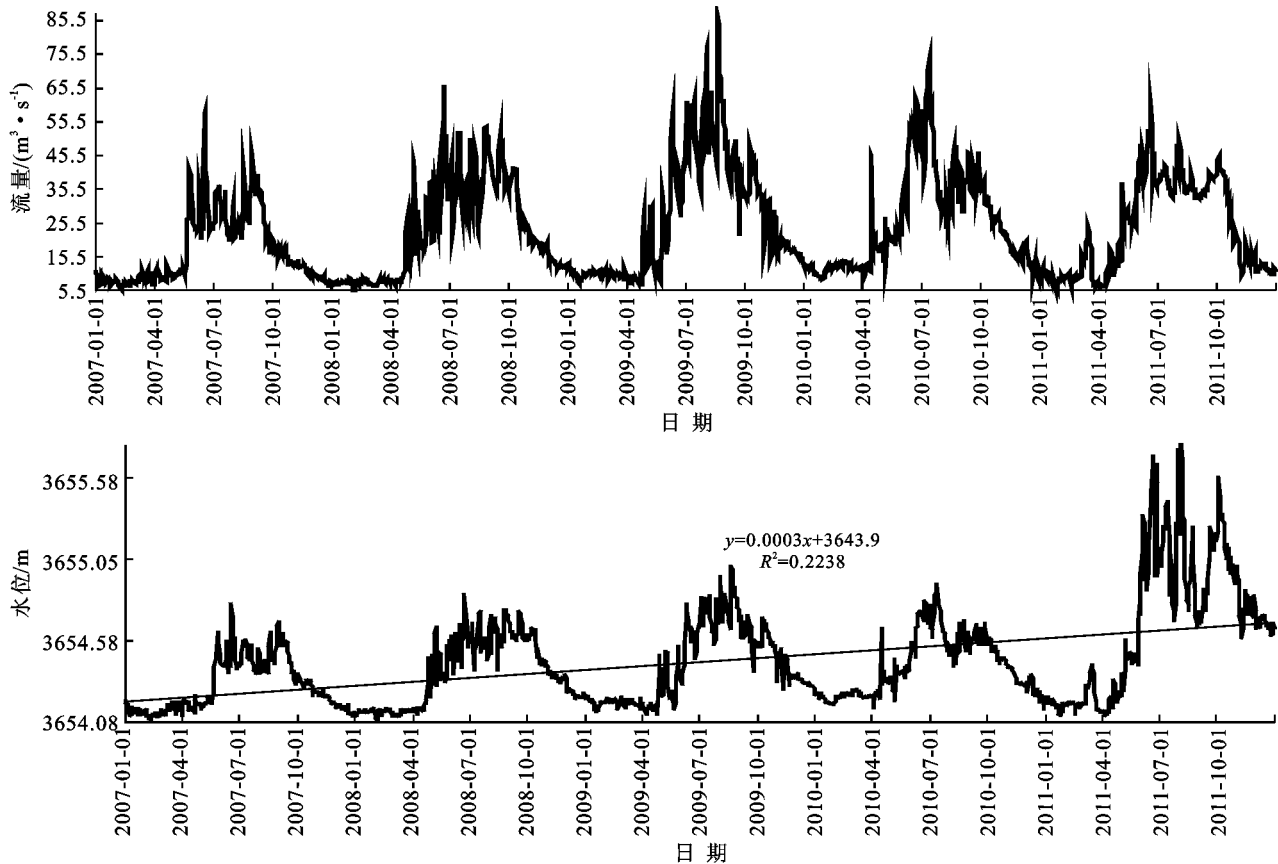


图 1 2007—2011 年新寨水文站逐日水位和流量的变化

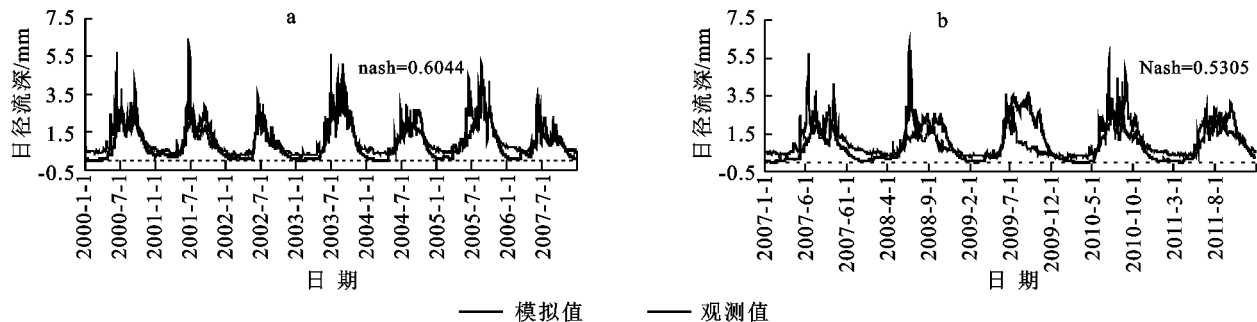


图 2 2000—2011 年逐日模拟径流深度与观测径流深度的对比

图 2 中的 nash 系数和确定性系数是根据公式 (1)和公式(2)计算得出的,如果 nash 系数和确定性系数不再 0.5~0.9 范围内,则说明模拟值和观测值拟合效果不好,模拟结果没有实际意义。

$$NASH=1-\frac{\sum(Q_{obs}-Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})^2}$$
 (1)

$$R^2=\frac{[\sum(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})(Q_{sim}-\bar{Q}_{sim})]^2}{\sum(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})^2\sum(Q_{sim}-\bar{Q}_{sim})^2}$$
 (2)

式中:Q_{obs}——观测值;Q_{sim}——模拟值; \bar{Q}_{obs} ——观测平均值; \bar{Q}_{sim} ——模拟平均值。

3.2 水位和流量的关系

通过水文站逐日观测流量和水位,建立 2007—2011 年洪水流量和水位之间的关系,流量和水位相关性特别高,通过 0.001 的显著性检验。由图 3 可知,自 2007 年以来,流量和水位呈现持续上升的态势,1971—2000 年青南牧区年平均降水量 480.1 mm,2001—2010 年年平均降水量 499.7 mm,说明青南牧区降水明显增加,降水量增加趋势与巴塘河流量增加的趋势一致。通过 HBV 模型模拟结果以及流量和水位的换算关系,可以得出逐日模拟流量、模拟水位以及流域面雨量,为流域临界面雨量的阈值划分提供基础。

表 1 参数的意义以及敏感性

序号	参数名	设定的参数值	参数意义	参数敏感度
1	TX	0.1℃	Threshold temperature for snow	不敏感
2	TS	15.8℃	Threshold temperature for no melt	不敏感
3	CX	1.35 mm/(℃·d)	Melt index	不敏感
4	CFR	0.005	Refreeze efficiency	不敏感
5	LV	0.03	Max water content in snow	不敏感
6	BETA	1.0	Non-linearity in soil water zone	敏感
7	CBRE	1.5	Melt increase on glacier ice	不敏感
8	FCDEL	0.7	Pot. evapotr when content = FC * FCDEL	不敏感
9	INFMAX	4.0 mm/d	Maximum infiltration capacity	不敏感
10	KUZ2	0.05	Quick time constant upper zone	敏感
11	UZ1	5.68 mm	Threshold quick runoff	敏感
12	KUZ1	0.34	Slow time constant upper zone	敏感
13	PERC	2.22 mm	Percolation to lower zone	不敏感
14	KLZ	0.03	Time constant lower zone	敏感
15	DECAY	0.5	Feedback constant	不敏感
16	CE	0.02	Evapotranspiration constant	不敏感
17	SMINI	20 mm	Initial soil moisture content	较敏感
18	UZINI	20 mm	Initial upper zone content	较敏感

4 临界雨量阈值的划分

根据玉树新寨站警戒水位、保证水位、堤坝高度,根据洪水达到警戒、保证或漫过堤坝水位的不同条件来判定暴雨诱发的洪水对整个巴塘河流域造成不同的风险等级。因高原独特气候条件,通过分析 1961—2011 年历史洪水灾情以及水位、流量的变化情况,发现 1 h,3 h,6 h,12 h 的暴雨的强度不是特别大,因此划分 24 h 不同基础水位下的山洪致灾临界雨量是符合客观实际,新寨站警戒水位、保证水位、堤防高度分别为 3 655.77,3 655.83,3 656.91 m,研究达到不同水位高度时的临界面雨量(图 4),划分出临

界面雨量对每次洪水过程有较好的响应,气象部分根据面雨量预报值判定降水量是否造成洪水,从而达到洪水风险预警的目的。

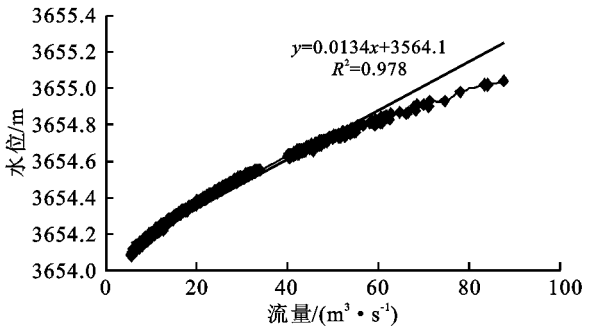


图 3 2007—2011 年逐日流量与水位拟合

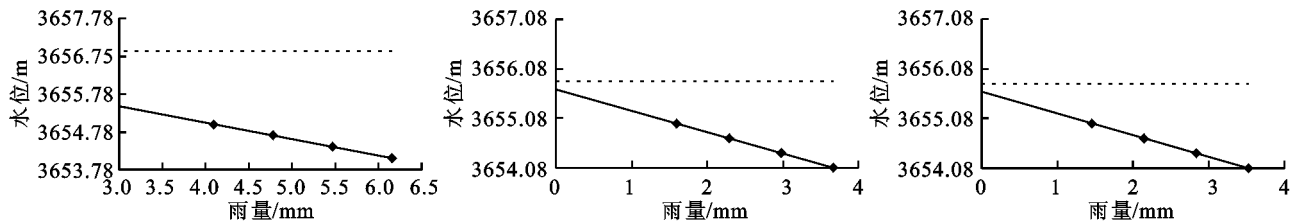


图 4 不同基础水位下临界面雨量值

5 结论与讨论

本研究基于巴塘河流域高程图、土地类型、气温、降水以及土壤持水量等要素模拟巴塘河流域模拟径流深度,率定期的 HBV 模型对新寨站日径流深模拟的确定性系数达 0.678 2,验证期确定性系数超过了 0.770 0,模拟出的水文过程线与实际基本吻合,很好的预报出了洪水对降水的响应过程。通过观测流量和水位拟合关系以及流量与面雨量的关系,以洪水达到警戒、保证或漫过堤坝水位的不同条件来判定暴雨诱发的洪水对整个巴塘河流域造成不同的风险等级。通过半分布式水文模型在青藏高原暴雨诱发的中小河流洪水临界面雨量研究中的应用,气象部门通过该流域临界雨量阈值的范围,如果该流域面雨量达到一定的量级,可有效、快速的发布预警,为风险预警提供科学依据。由于高原本身的地域特色,气象数据、水文数据、灾情数据的不完备,短期内无法验证划分阈值的有效性,随着今后汛期强降水过程,逐步验证模型划分临界面雨量阈值的有效性并不断完善。

参考文献:

[1] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Climate Change 2007: The physical Science Basis; Contribution of working group I

to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on climate change. IPCC Fourth assessment Report [M]. Cambridge University Press,2007.

[2] 刘义花,李林,苏建军,等. 青海省春小麦干旱灾害风险评估与区划[J]. 冰川冻土,2012,34(6):1416-1423.

[3] 何思为,南卓铜,王书功,等. 四个概念水文模型在黑河流域上游的应用与对比分析[J]. 水文,2012,32(3):13-19.

[4] 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,2007,27(4):31-33.

[5] 段生荣. 典型小流域山洪灾害临界雨量计算分析应用研究[J]. 中国农村水利水电,2008(8):63-68.

[6] 张世才,褚建华,张同泽,等. 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.

[7] 李燕萍. 玉树巴塘河初步水文分析与计算[J]. 青海科技,2010(4):47-50.

[8] 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.

[9] 祁元,刘勇,杨正华,等. 基于 GIS 兰州滑波与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土,2012,34(1):96-104.

[10] 文明章,林昕,游立军,等. 山洪灾害风险雨量评估方法研究[J]. 气象,2013,39(10):1325-1330.

[11] 陈晓弟,罗京义,谢仁波,等. 铜仁锦江河流域面雨量计算方法探讨[J]. 贵州气象,2010(S):134-137.