

# 白水江流域降雨径流预报模型的研究

胡志鹏

(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:**按照丰、平、枯水平年,选取白水江上游流域雨量站及大录水文站实测水文资料,分析水文站断面产汇流时间。以时段面平均雨量和时段流量为输入,率定降雨径流关系以及分析综合洪水退水曲线,建立白水江上游流域降雨径流预报模型,并利用剩余实测资料对模型进行检验。结果表明,模型实用有效、时效性高,预报精度符合要求。

**关键词:**白水江;产汇流;降雨径流预报;退水曲线

**中图分类号:**P426.62;P45;A715

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-2184(2022)04-0135-04

## Study on Rainfall Runoff Prediction Model in Baishui River Basin

HU Zhipeng

(Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan 610072)

**Abstract:** The measured hydrological data of the rainfall stations and Dalu hydrological station in the upper reaches of Baishui River are selected according to the rainy, normal and dry years to analyze the runoff and concentration time of the section of the hydrological station. The rainfall runoff prediction model of the upper reaches of Baishui River is established by calibrating the rainfall runoff relationship and the comprehensive flood recession curve with the period area average rainfall and period flow as the input, and the model is tested by using the remaining measured data. The results show that the model is practical and effective, has high timeliness, and the prediction accuracy meets the requirements.

**Key words:** Baishui River; Runoff and confluence; Rainfall runoff forecast; Regression curve

### 1 概述

我国山区中小流域地貌陡峻,河道坡降大,流域降雨强度大且集中,洪水具有暴涨暴落的特点,产生的山洪灾害已成为防灾减灾的重点<sup>[1-3]</sup>,对人民群众的生命财产安全构成了严重的威胁<sup>[4-5]</sup>。

洪水预报是重要的防洪非工程措施,可靠的洪水预报是防洪决策中的重要依据<sup>[6]</sup>。水文预报系统理论模型侧重模拟结果的精度,而不考虑输入与输出之间的物理因果关系,因此又被称为黑箱子模型<sup>[7]</sup>,降雨径流相关模型就是其中一种。该方法在成因分析与统计相结合的基础上,用每场降雨过程流域的面平均雨量和相应产生的径流量,以及影响径流形成的主要因素建立起来的一种量化的经验关系<sup>[8]</sup>。相关降雨径流研究结果表明<sup>[9]</sup>,降雨径流预报方法简单,具有一定的精度,在实际工作中应用较为广泛<sup>[10]</sup>。

白水江流域地处岷山脉东部,流域洪水主要由降雨形成,洪水出现的时间与降雨相应,年最大洪峰流量均出现在 5~10 月,主要发生在 7~9 月。流域建有水情自动测报系统,能实时采集流域相应位置水雨情信息。其中上游建有大录水文站,控制集水面积 1 191 km<sup>2</sup>,地理位置位于东经 103°41.471',北纬 33°35.369',现有水位、流量、降雨等观测项目。水文站以上流域建有卡美、亚隆及神仙池雨量站。研究根据大录水文站及上游雨量站的前期水文资料,建立降雨径流水文模型,进行水文站断面洪水预报。

### 2 产汇流时间分析

大录水文站以上流域面积为 1 191 km<sup>2</sup>,大录水文站上游流域水系图见图 1。采用泰森多边形法,利用 ArcGIS 将流域划分为 4 个子流域,并计算大录水文站以上流域面小时平均雨量。卡美、亚隆及神仙池雨量站分别距大录水文站的河道距离为 23.679 km、29.489 km 及 19.264 km。

收稿日期:2022-01-11

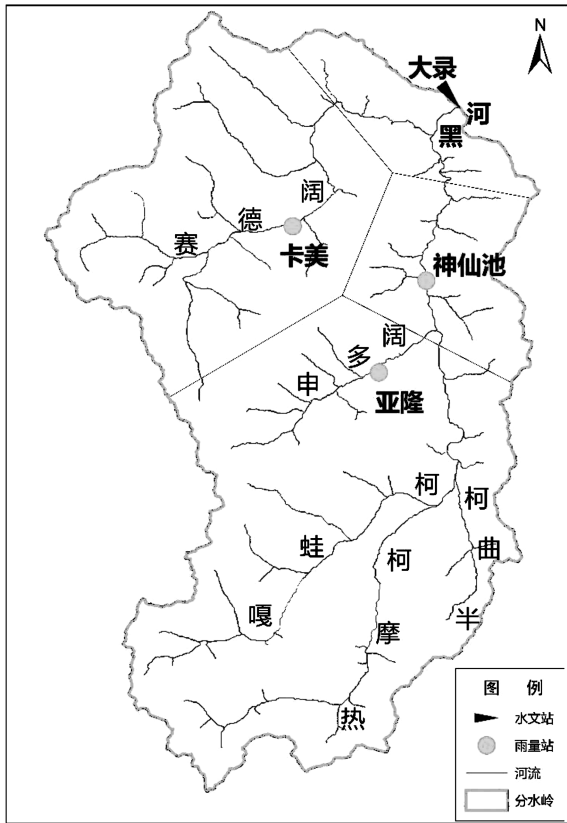


图1 大录水文站上游流域水系图

大录水文站 2005 年至 2020 年汛期共计 261 次测流数据,平均流速为 1.76 m/s,最大流速为 3.2 m/s(相应流量为 72.6 m<sup>3</sup>/s),最小流速为 0.93 m/s(相应流量为 10.1 m<sup>3</sup>/s)。根据河道距离与流速计算卡美、亚隆及神仙池雨量站区域至大录水文站断面的河道汇流平均时间分别约为 1.9 h、2.3 h 及 1.8 h。研究表明九寨沟林下地表径流产流时间在 38~72 min 之间<sup>[11]</sup>。综上,计算得到大录水文站上游流域产汇流平均时间约为 2.8 h,以此筛选研究流域内小时降雨及径流资料。

通过筛选及整编分析,选择 2017 年、2020 年的小时降雨事件前后 3 h 无降雨发生的典型时段数据,分析降雨发生时段距大录水文站测验断面洪峰发生的时间。大录水文站上游流域发生降雨,且降雨发生前后 3 h 无其他降雨发生,水文站断面距降雨发生时段后平均 3 h 出现洪峰。已有的产流时间研究成果结合河道距离、流速计算得到的峰现时间与实测降雨径流资料分析结果一

致。大录水文站测验断面在上游发生降雨,水文站测验断面平均峰现时间为 3 h。2017 年 7 月 15 日和 2020 年 8 月 8 日大录水文站峰现时间分析图见图 2、3。

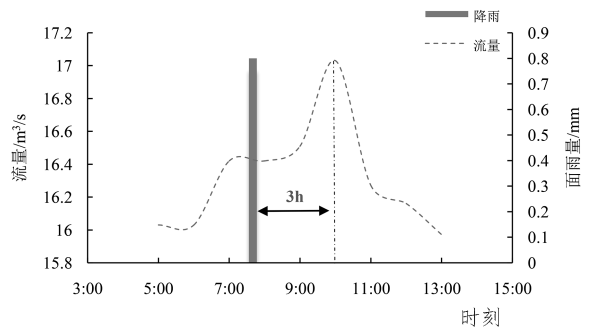


图2 2017年7月15日大录水文站峰现时间分析图

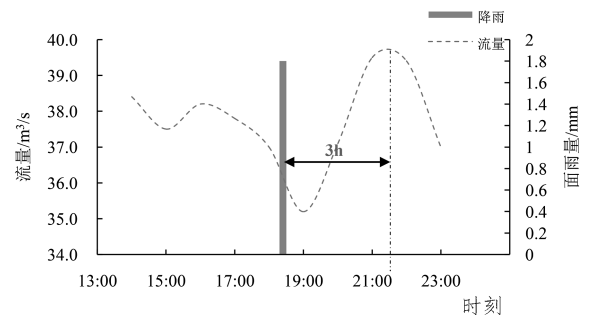


图3 2020年8月8日大录水文站峰现时间分析图

### 3 降雨径流预报模型

#### 3.1 降雨径流关系分析

通过分析,大录水文站测验断面在上游发生降雨后,水文站测验断面平均峰现为 3 h。根据《水文情报预报规范》(GB/T22482-2008),距百分率划分大录水文站以上流域丰、平、枯水平年,选取 2013 年(偏枯水年)、2015 年(平水年)及 2020 年(特丰水年)作为典型年,筛选汛期降雨径流资料。根据雨量资料和降雨发生 3 h 后的大录水文站流量资料,以降雨发生时段测验断面流量为前提条件,分析率定得到水文站测验断面的  $Q_{t+3}^i \sim Q_t^i \sim P_t$  降雨径流关系成果。其中: $Q_t^i$  为降雨发生时不同等级的测验断面流量(m<sup>3</sup>/s); $P_t$  为流域小时面雨量(mm); $Q_{t+3}^i$  为降雨发生 3 h 后测验断面流量(m<sup>3</sup>/s)。

#### 3.2 综合洪水退水曲线提取

流域降雨径流预报方案的建立是以实测资料为依据,综合洪水退水曲线的提取应根据流域历年实测洪水退水段流量资料。根据丰、平、枯水平

年实测资料情况,按照  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  至  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  洪峰流量级,选择大录水文站实测小时退水流量过程数据进行分析,洪水场次选择明细表见表 1。

表 1 洪水场次选择明细表

序号	洪峰流量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	洪水场次 / 日期		
1	20	2013/06/09	2013/08/28	/
2	30	2013/05/26	2013/06/02	2017/07/6
3	40	2014/08/01	2017/09/09	2017/06/17
4	50	2013/07/29	2015/09/27	/
5	60	2014/05/26	2020/07/18	/
6	70	2015/06/04	2017/06/04	/
7	80	2015/07/09	2017/10/04	/
8	90	2017/09/27	/	/
9	100	2020/06/23	2020/07/26	2020/09/21
10	140	2020/08/12	/	/
11	150	2020/08/18	/	/

将上述洪水退水段流量点绘在一张图上,在水平方向上移动各次洪水退水段,使其尾部重合,作外包线并进行相关修正,即为大录水文站断面

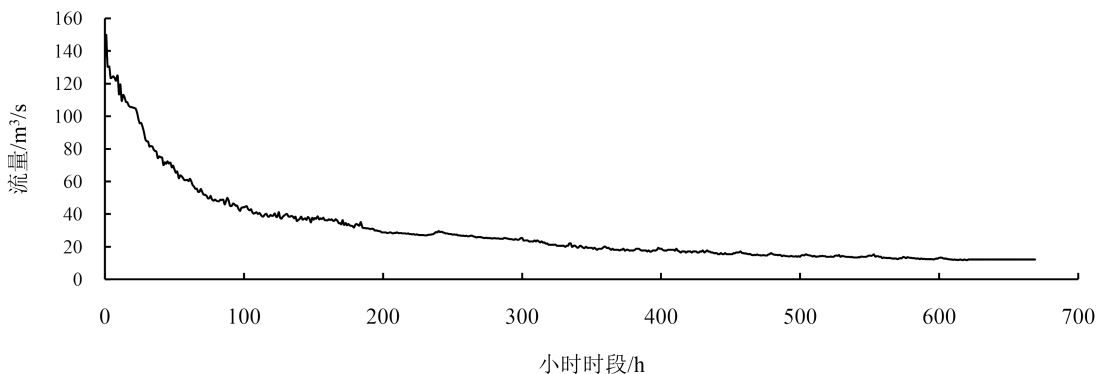


图 4 大录水文站断面洪水综合退水曲线图

#### 4 预报检验

选择“2012/08/20”“2014/05/22”“2014/05/23”“2014/05/26”“2021/09/19”“2021/09/27”“2021/10/06”7 场洪水流量过程作为检验样本,对降雨径流预报模型进行检验,得到 7 场洪水预报过程,洪水流量过程预报误差分析见表 2,洪峰流量预报误差分析见表 3。洪水流量过程绝对误差、相对误差最大值分别为  $11.04 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $44.5\%$ ,均出现在 2014 年 5 月 26 日场次洪水;绝对误差、相对误差平均值分别小于  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $5\%$ ;确定性系数的平均值为 0.93。各场洪水的实测

洪水综合退水曲线,大录水文站断面洪水综合退水曲线图见图 4。

#### 3.3 预报方案建立

洪水过程指洪水流量随时间变化的过程,通常称为洪水过程线<sup>[12]</sup>。洪水过程包含洪水起涨时段、洪峰及洪水退水过程。单次降雨形成洪水过程且洪水过程无后续降雨发生,则由该次降雨发生时间至洪峰发生时间为洪水起涨时段。洪峰过后为洪水退水过程。当大录水文站上游发生降雨时,根据分析得到的大录水文站测验断面的  $Q_{i+3}^i \sim Q_i^i \sim P_i$  降雨径流关系成果作为预报依据,预报 3 h 测验断面洪峰流量。结合白水江水情系统实时采集断面流量数据,实现实时滚动更新预报。当大录水文站上游无降雨发生时,以大录水文站断面洪水综合退水曲线成果预报测验断面流量过程,实现实时预报。

通过计算机编程制作预报报表,实时检索数据库降雨、流量数据,以实时降雨及流量数据作为输入,根据  $Q_{i+3}^i \sim Q_i^i \sim P_i$  降雨径流关系成果进行三维插值计算,实现降雨径流预报模型。

洪峰流量与预报洪峰流量的绝对误差、相对误差分别  $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $11.49\%$ ,分别出现在 2021 年 10 月 6 日、2021 年 5 月 23 日场次洪水;相对误差均在  $12\%$  以内,预报精度符合规范要求。洪水过程及洪峰流量预报效果较好。

#### 5 结 语

以白水江流域为研究对象,结合流域水情系统,面向生产实际,研究大录水文站 5~10 月的小时降雨径流关系,建立预报模型。模型采用水文站建设以来的 2006~2020 年逐时流量和降雨资料进行模型参数率定和检验。该方法实现了大

表2 洪水流量过程预报误差分析表

年份	洪水场次 / 日期	绝对误差 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		相对误差 / %		确定性系数	水平年
		最大值	平均值	最大值	平均值		
2012	08-20	9.76	1.03	19.8	3.11	0.98	偏丰水年
	05-22	3.95	1.19	17.4	5.13	0.90	
2014	05-23	8.29	2.16	21.63	6.27	0.77	特丰水年
	05-26	11.04	1.88	44.5	6.71	0.95	
	09-19	7.23	0.91	22.5	3.25	0.95	
2021	09-27	4.62	1.17	17.7	3.75	0.95	平水年
	10-06	12.45	1.32	25.2	3.87	0.96	
平均值		8.19	1.38	24.1	4.58	0.93	

表3 洪峰流量预报误差分析表

年份	洪水场次 / 日期	实测流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	预报流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	绝对误差 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	相对误差 / %	水平年
2012	08-20	74.7	72.5	2.2	2.95	偏丰水年
	05-22	31.2	28.8	2.4	7.69	
2014	05-23	43.5	38.5	5.0	11.49	特丰水年
	05-26	58.8	53.6	5.2	8.84	
	09-19	40	41.2	1.2	3.00	
2021	09-27	39.4	36.7	2.7	6.85	平水年
	10-06	66.7	60	6.7	10.04	
平均值				3.6	7.3	

录水文站断面的实时径流预报,为白水江梯级水电站充分利用水资源、防洪减灾、发电计划等提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 张行南,罗健,陈雷,等.中国洪水灾害危险程度区划[J].水利学报,2000,3(1):3-9.
- [2] 刘志雨,侯爱中,王秀庆.基于分布式水文模型的中小河流洪水预报技术[J].水文,2015,35(1):1-6.
- [3] 郑国强,张洪江,刘涛,等.基于 Bayes 判别分析法的密云县山洪泥石流预报模型[J].水土保持通报,2009,29(1):83-87,107.
- [4] 赵洪彬,黄晓荣,周星宇,等.雨量输入对分布式溪流河模型中小流域预报精度的影响[J].水利水电技术,2020,51(8):22-30.
- [5] 国家防汛抗旱总指挥部,中华人民共和国水利部水文局.中国水旱灾害公报 2010.北京:中国水利水电出版社,2011.
- [6] Pilon PJ. Guidelines for reducing flood losses. United Na-

tions International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR),2002.

- [7] 董艳萍,袁晶瑄.流域水文模型的回顾与展望[J].水利发电,2008,34(3):20-23.
- [8] 祝诗学,梁忠民,戴昌军,等.丹江口水库流域月尺度降雨与径流预报研究[J].2016,14(1):96-101,24.
- [9] 金保明,王伟,杜伦阅,等.基于 LMBP 算法的崇阳流域降雨径流预报模型研究[J].2019,47(6):842-847.
- [10] 叶守泽,詹道江.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2000:84-85.
- [11] 王晶,包维楷,丁德蓉.九寨沟林下地表径流及其与地表和土壤状况的关系[J].水土保持学报,2005,19(3):93-96.
- [12] 姚瑞虎,李深奇,覃光华,等.特定洪水过程研究[J].水文,2018,38(1):1-6.

#### 作者简介:

胡志鹏(1991-),男,湖南郴州人,工程师,硕士研究生,从事水文学资源与水情工作。

(责任编辑:吴永红)

## 南方电网以实际行动迎接党的二十大胜利召开

为迎接党的二十大胜利召开,大力营造团结奋斗、自信自强、国泰民安的浓厚社会氛围,中国南方电网有限责任公司全面承接落实中共中央宣传部和国务院国资委党委宣传部部署要求,于今年5月制定实施《南方电网公司“强国复兴有我”群众性主题宣传教育活动工作方案》,在南方电网系统部署开展16项重点活动,充分宣传展示党和国家事业取得的历史性成就、发生的历史性变革,生动展示该公司在以习近平总书记为核心的党中央坚强领导下取得的改革发展成就。

(来源:中国电力报)