

西藏稀缺资料地区洪峰流量推求

刘昌明¹, 白鹏¹, 巩同梁², 王中根¹, 刘小莽¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 西藏自治区水利厅, 拉萨 850000)

摘要: 洪峰流量是水利工程规划设计、工程建设和运营管理的重要依据, 对水利工程的投资规模和安全运行有着重要的意义。西藏地区主要水文测站实测洪峰流量(Instantaneous Peak Flow, 简称: IPF)资料稀缺, 而按水位计算整理的日径流资料(Mean Daily Flow, 简称: MDF)相对较多。通过构建实测资料时段的洪峰流量与对应日平均流量间的函数关系, 基于长序列的日径流资料估算洪峰流量, 延长洪峰流量序列, 为设计洪水提供数据支撑。研究结果表明: (1) 西藏地区主要水文测站 IPF~MDF 函数关系稳定, 利用这种函数关系由实测 MDF 推求的 IPF 误差均在 10% 以内, 且延长后的 IPF 序列频率分析计算结果更加合理; (2) 对于实测 MDF 序列缺乏的测站, 可以通过气象资料驱动 HIMS 系统水文模块(Hydro Informatic Modeling System)拓展 MDF 序列, 在此基础上推求 IPF 序列。基于 HIMS 系统水文模块对西藏三条典型河流(年楚河、拉萨河和尼洋河)的日径流序列进行了模拟, 结果表明, 模型对日径流整体过程与高流量值的模拟效果均良好。进而利用模型延长的 MDF 序列以及构建的 IPF~MDF 函数关系拓展了西藏三条典型河流 2000 年-2010 年间的 IPF 序列。

关键词: 西藏; 稀缺资料地区; HIMS 模型; 洪峰流量; 日平均流量

中图分类号: TV 122⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)01-0001-06

Estimation of Peak Flow of an Ungauged Basin in Tibetan Plateau

LIU Chang ming¹, BAI Peng¹, GONG Tong liang², WANG Zhong gen¹, LIU Xiaomang¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle & Surface Process, Institute of Geographic Sciences and

Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Tibet Bureau of Water Resources, Lhasa 850000, China)

Abstract: The instantaneous peak flow (IPF) is the important basis for the hydraulic design, construction, and management, and it also has important significance on the investment and safe operation of hydraulic projects. However, the IPF records in Tibet are generally scarce, while the mean daily flow (MDF) records are relatively abundant. In this study, the IPF records are extended by analyzing the relationship between the corresponding IPF and MDF records and then estimating the IPF based on the long series data of MDF, which can provide data support for the design flood. The results show that (1) the function relationship between IPF and MDF is stable for most of the hydrological stations in Tibet. The relative error between the estimated and observed IPF is less than 10% based on the above relationship, and the frequency analysis results using the extended IPF data series are more reasonable than those using the measured IPF series; and (2) for the stations with limited data of measured MDF, the HIMS (Hydro Informatic Modeling System) model is used to extend the available MDF data series, and then the IPF data series are estimated. The HIMS model is applied to simulate the MDF data series in three representative rivers of Tibet: the Nianchu river, Lhasa river, and Niang river. The results show that the model has a good performance in both daily and peak flow simulations. Moreover, the IPF data series in the three representative rivers have been extended from 2000 to 2010 using the extended MDF data series obtained from the simulation results of HIMS and the function relationship between IPF and MDF.

Key words: Tibet; ungauged basins; HIMS model; instantaneous peak flow; mean daily flow

收稿日期: 2012-12-18 修回日期: 2013-01-22 网络出版时间: 2013-01-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130124.1123.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971023); 西藏自治区山洪灾害防治县级非工程措施建设

作者简介: 刘昌明(1934), 男, 湖南汨罗人, 中国科学院院士, 从事水文水资源方面研究。E-mail: liucm@igsnr.ac.cn

通讯作者: 白鹏(1983), 男, 河北石家庄人, 博士生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: baip.11b@igsnr.ac.cn

1 研究背景

我国西藏自治区有河流 365 条, 其中流域面积大于 2 000 km² 的河流有 100 多条, 大于 10 000 km² 的河流有 20 余条。全区地表水资源总量 4 480 多亿 m³, 按全区人口和耕地计算, 人均占有水量和亩占有水量均居全国首位。不仅如此, 西藏的水力资源极其丰富, 蕴藏量也居全国第一。然而受到交通、经济、技术条件的制约, 水资源与水电资源的开发程度都非常低。以水电为例, 截止到 2007 年, 水电开发利用率仅为 0.4% 左右, 开发潜力巨大。伴随着中国未来巨大的能源需求, 西藏将成为中国未来水电开发的重点区域^[1]。

在西藏地区开展水利工程或一些涉水基础项目的建设, 特别是防洪减灾与洪水风险评估时, 都需要进行洪水计算与频率分析。洪峰流量是洪水三要素(洪峰流量、洪水总量和洪水过程线)中最主要的要素。在缺乏实测洪峰流量的西藏地区, 确切地估算洪峰流量及其频率是急需解决的问题, 是对西藏水文研究的重大挑战。此项研究对防洪抗险以及对水利工程的投资规模和安全运行有着重要意义^[2]。

目前, 利用实测流量资料和暴雨资料进行洪水频率分析是两种最基本、最可靠的设计洪水计算方法。由实测流量推求设计洪水一般需要 30 年以上的实测流量数据^[3], 由暴雨推求设计洪水需要一定密度的气象站网和一定精度的短历时降水资料作为输入, 以及一定时间序列的流量资料进行模型率定和验证。然而西藏地区水文气象测站极其稀少, 水文测站控制面积大多在 1 万 km² 以上, 更是缺乏中小流域测站, 且已公布的水文年鉴时间序列不足 30 年, 数据往往存在时间序列短、缺测、误测等问题。所以, 传统的洪水频率分析方法在西藏地区往往无法应用。

在西藏有限的水文资料中, 径流数据多为日平均流量。无论是站点数目还是时间序列长度, 日平均流量资料都明显多于洪峰流量资料。日平均流量与洪峰流量是洪水在不同时间尺度上的表现, 因此, 建立洪峰流量与对应日平均流量之间的关系, 从而延长洪峰流量序列。由日平均流量推求洪峰流量主要有两种方法: 第一种方法是用包含洪峰流量在内的连续日径流数据推求洪峰流量; 第二种方法是建立洪峰流量与对应的日径流量、流域特征之间的函数关系。Sangal^[4] 是第一种方法的开创者, 其利用包含洪峰流量在内的连续三日平均流量数据推求洪峰流量。Fuller 公式^[5] 是第二种方法中最早被普遍接受的一种方法, 其认为洪峰流量与对应日平均流量的比值随流域面积增大而减小。许多学者在 Fuller 公式基础上, 提出了各自研究区洪峰流量与日平均流量的关系^[6,7]。相比于 Fuller 公式, Sangal 公式需要的数据更多, 且对于面积大于 1 000 km² 的流域, 其计算结果往往比实测值偏大^[8]。因此, 本文以 Fuller 公式函数形式建立西藏主要水文测站实测洪峰流量与对应日平均流量间的关系。在此基础上, 利用实测和水文模型模拟的长序列日径流资料延长洪峰流量序列, 以期西藏地区涉水工程设计洪峰流量的计算提供参考。

2 研究区概况与资料来源

西藏自治区地处世界上最大最高的青藏高原, 即“世界

屋脊”。西藏是青藏高原的主体部分, 平均海拔 4 000 m 以上, 总面积约 120 万 km², 是亚洲与中国主要江河的发源地。西藏地区地形复杂, 导致降水空间分布差异大, 年降水量自其东南部的 5 000 mm, 逐渐向西北递减到 50 mm。降水量年内分配极不均匀, 大多地区汛期降水占全年降水的 80% 以上^[9], 集中的降水经常导致山洪暴发, 因其山体滑坡、泥石流等局部突发性山洪灾害, 给当地人民生命财产和水利工程的安全运行造成了极大威胁。

在全国来看, 西藏自治区是水文气象观测站网密度极其稀少的地区。在世界范围内也是无资料流域水文计算(PUB, Predictions in Ungauged Basins)研究最具挑战性的一个地区。西藏自治区水文测站的平均密度约为 50 000 km²/站, 单站控制面积是我国东部地区(约 1 000 km²/站)的 50 倍左右, 可见其实测径流资料的匮乏。西藏洪水径流的组成包括了降水补给、地下水补给、融雪补给等多种补给类型, 但是, 径流形成受人类活动影响小。本文径流数据来源于西藏自治区水文年鉴:《藏滇国际河流水文资料》(1955 年—1982 年), 主要为雅鲁藏布江流域径流数据, 不包括澜沧江、怒江流域。水文测站总数目为 24 个, 且其中数个已停测。在西藏自治区 120 万 km² 面积上仅有实测洪水流量过程资料的测站为 14 个。1982 年—2000 年部分测站日径流资料以及部分气象测站资料由西藏自治区水文水资源勘测局提供。国家气象站数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>), 测站数目 39 个, 时间尺度为日均值, 时间截止为 2010 年 12 月 31 日。西藏自治区主要水文测站及径流数据情况见表 1。

3 方法与结果

3.1 方法

西藏自治区主要水文测站实测洪峰流量资料缺乏而日平均径流资料相对较多。统计 14 个测站 203 个年数最大日平均流量和年最大洪峰流量的发生日期, 结果表明: 年最大洪峰流量对应于年最大日平均流量的比例为 98.5%。因而可构建实测洪峰流量(IPF)与对应日平均流量(MDF)间的函数关系由 MDF 延长 IPF 序列, 从而应用于设计洪水计算。但对于重要的涉水工程建设, 现有的日径流序列长度往往不能满足洪水频率分析的需求。相比于实测径流数据, 气象数据往往有更长的时间序列, 且更新更快, 更易获取。因而, 可利用长序列的气象数据驱动水文模型延长 MDF 序列, 从而达到延长洪峰流量序列的目的, 以满足洪水计算的需求。具体洪峰流量计算过程见图 1。

3.2 基于日平均流量的洪峰流量推求

Fuller 最早提出 IPF/MDF 值与流域面积呈负相关的关系^[5]。对于同一流域, IPF/MDF 的值反映流域的综合调蓄作用, 流域越大, 其调蓄作用越大, 洪水的涨落过程越长, IPF/MDF 也越趋近于 1。反之, 流域越小, IPF/MDF 的值也越大。通过对西藏主要测站历年最大洪峰流量与对应日平均流量比值关系研究发现, 西藏主要水文测站 IPF/MDF 的稳定性较好, 变差系数 C_v 值均小于 0.2。西藏主要水文测站 IPF/MDF 见图 2(a), 利用各站 IPF~MDF 比值关系

表 1 西藏自治区主要水文测站及其径流序列

Table 1 The main hydrological stations and runoff series in Tibet

站点	日径流序列	实测洪水流量序列	河流	经度	纬度	集水面积/km ²
奴各沙	1956- 2000	1956- 1982	雅鲁藏布江	89. 72	29. 33	106 378
羊村	1956- 2000	1956- 1982	雅鲁藏布江	91. 88	29. 28	153 161
奴下	1955- 2000	1955- 1982	雅鲁藏布江	94. 57	29. 47	189 843
拉孜	1980- 1998	1980- 1982	雅鲁藏布江	87. 70	29. 17	50 432
江孜	1963- 1968 1971- 1998	1963- 1968 1971- 1982	年楚河	89. 60	28. 90	6 216
日喀则	1980- 2000	1980- 1982	年楚河	88. 85	29. 30	11 101
旁多	1976- 2000	1976- 1982	拉萨河	91. 35	30. 10	16 370
唐加	1961- 2000	1961- 1982	拉萨河	91. 78	29. 88	20 367
拉萨	1955- 1968 1973- 2000	1955- 1968 1973- 1982	拉萨河	91. 15	29. 63	26 225
羊八井	1978- 2000	1978- 1982	堆龙曲	90. 55	30. 08	2 633
工布江达	1979- 2000	1978- 1982	尼洋河	93. 25	29. 88	6 417
更张	1978- 1982 1989- 2000	1978- 1982	尼洋河	94. 15	29. 75	15 600
沃卡	1971- 1977	1971- 1977	沃卡河	92. 20	29. 30	1 434
易贡	1966- 1969	1966- 1969	易贡藏布	94. 77	30. 30	13 307

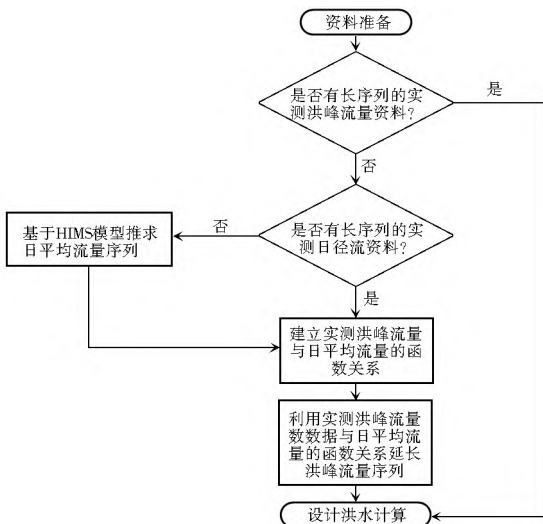


图 1 西藏自治区洪峰流量计算流程

Fig. 1 The flow chart of peak flow calculation in Tibet

计算 IPF 与实测 IPF 的相对误差 (RME) 见图 2(b)。由图 2(a) 可知, IPF/MDF 的值随流域面积的增大而递减, 流域越大, IPF/MDF 的值越接近于 1, 其值变化范围在 1.01~1.22 之间。面积相当地区, 年降水量越大, IPF/MDF 的值越小。例如: 江孜站和工布江达站, 流域面积相差 3.2%, 年降水量分别为 291 mm 和 688 mm, IPF/MDF 分别为 1.22 和 1.09。在面积大于 50 000 km² 流域, 日平均流量与洪峰流量已十分接近。通过回归分析, IPF/MDF 与流域面积 (A) 符合以下关系:

$$IPF/MDF = 1 + 3.24A^{-0.40} \quad R^2 = 0.88 \quad (1)$$

由图 2 可知相对误差, (RME) 与 IPF/MDF 变化趋势一致, 随流域面积增大而减小。基于 IPF/MDF 比值关系计算得到的 IPF 与实测值误差均小于 10%。因此, 对于流域面积大于 1 000 km² 水文测站, 均可利用实测 MDF 与 IPF/MDF 关系来延长 IPF 序列。经过 MDF 序列延长 IPF

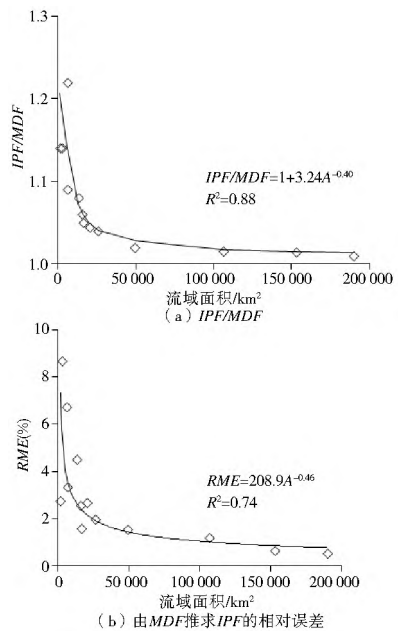


图 2 西藏主要水文测站 IPF/MDF 以及由 MDF 推求 IPF 的相对误差

Fig. 2 The relationship between IPF and MDF (a) and the relative error of estimated IPF from MDF (b)

序列后, 西藏主要水文测站中 IPF 序列超过 30 年的测站数目达到 6 个。基于皮尔逊 \hat{O} 型曲线分别在 6 个水文站开展以下三种洪峰流量序列频率分析的对比研究: (\hat{N}) 实测 IPF 序列; (\hat{O}) 通过 MDF 序列推求得到的 IPF 序列; (\hat{O}) 通过 MDF 序列推求得到的 IPF 序列和实测 IPF 序列组成的延长序列。洪水频率分析采用年最大值法, 计算结果见表 2。

从统计角度分析, 序列 (\hat{O}) 的计算结果最能反映洪水真实频率分布。由表 2 可知, 在拉萨站, 序列 (\hat{N}) 的计算结果明显偏大, 在江孜、奴各沙和羊村站, 序列 (\hat{N}) 的计算结果明显偏小。序列 (\hat{O}) 在 6 个测站的计算结果与序列 (\hat{O}) 比较

表 2 不同年最大洪峰流量序列条件下洪水频率分析

Table 2 Flood frequency analysis under different annual maximum peak flow series

站名	序列	年数	平均值 / (m ³ · s ⁻¹)	C _v	P=1% / (m ³ · s ⁻¹)	P=2% / (m ³ · s ⁻¹)	P=5% / (m ³ · s ⁻¹)
江孜	Ñ	18	144	0.35	286	265	235
	ò	34	150	0.41	338	308	266
	ó	34	149	0.38	317	290	254
奴各沙	Ñ	27	2744	0.36	5 293	5 131	4 545
	ò	45	2 735	0.43	6 119	5 609	4 893
	ó	45	2 734	0.43	6 101	5 596	4 887
唐加	Ñ	22	1 456	0.23	2 339	2 218	2 045
	ò	40	1 424	0.24	2 377	2 238	2 041
	ó	40	1 414	0.24	2 324	2 198	2 016
拉萨	Ñ	24	1 893	0.33	4 009	3 629	3 118
	ò	42	1 810	0.31	3 385	3 150	2 819
	ó	42	1 715	0.27	3 391	3 122	2 750
羊村	Ñ	27	4 739	0.29	8 391	7 888	7 164
	ò	45	4 705	0.37	9 620	8 895	7 871
	ó	45	4 700	0.37	9 575	8 861	7 852
奴下	Ñ	28	7 957	0.22	12 585	11 950	11 038
	ò	46	7 906	0.29	14 112	13 238	11 990
	ó	46	7 903	0.29	14 106	13 233	11 985

接近。因而,在无实测洪峰流量的地区,可利用序列(ò)计算不同频率下的洪峰流量。

3.3 应用日降雨径流模型推算洪峰流量序列

水文模型是探索和认识复杂水文循环过程和机理的有效手段,也是解决许多水文实际问题的有效工具^[10]。水文模型在校核基础上被广泛应用于扩展径流序列,弥补实测资料缺乏的不足^[11]。HIMS(Hydro Informatic Modeling System)是中国拥有自主知识产权的模块化流域水循环综合模拟系统,可针对水资源、水环境、水生态、水灾害与水管理等问题进行多时空尺度综合模拟的分布式水文模型^[12]。目前,HIMS 系统已经与 GIS/RS 相结合,实现了多源信息处理和数字流域分析功能,可以从微观到宏观层面探讨流域水循环多元过程的规律与环节,适应不同时空尺度水文模拟和水资源管理的需求。其水文模型库 HydroLib 包含了流域水循环 9 大过程,集成了 110 多个模型,涉及 600 多个参数,基于函数、模块、模型的开放式系统架构,具有水文模型定制功能。允许用户根据所在流域的水文特征、研究目标以及数据状况等在 HIMS 水文方法库支持下,选择水文模拟方法和二次开发新的模型进行水文模拟与分析^[13]。HIMS 系统思路与框架见图 3。为了便于用户操作以及模型的推广,2009 年,在美国加州大学戴维斯分校合作期间编写了 HIMS 的普及版本,并在国内外更多的流域进行了应用验证,取得了良好的效果。普及版本操作简便,输入数据为日降水量、潜在蒸散发量(或用日最高、最低气温代替)以及实测日平均流量序列。

本文以雅鲁藏布江三大支流(年楚河、拉萨河、尼洋河)上的日喀则站、唐加站和工布江达站为典型,利用 HIMS 系统水文模块模拟三条河流的日径流过程,在满足模拟精度要

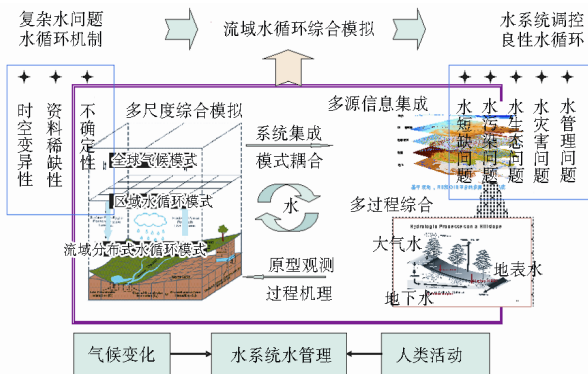


Fig. 3 The framework of HIMS

求基础上利用西藏河流洪峰流量和日平均流量之间稳定的函数关系延长洪峰流量序列。日喀则、唐加、工布江达 3 个水文测站以及周边气象测站分布见图 4。

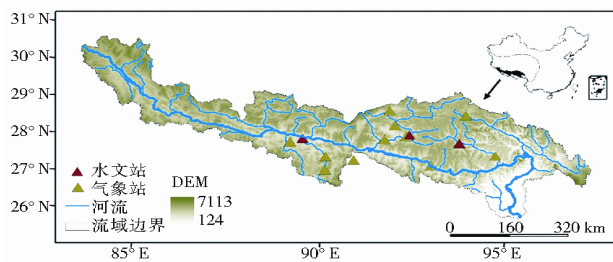


图 4 模拟水文测站及周边气象测站分布

Fig. 4 Geographical locations of hydrological and meteorological stations in the study area

模型目标函数为 Nash Sutcliffe 效率系数(NSE)^[14],采用粒子群优化算法对模型参数进行优化。为提高洪峰流量值模拟效果,通过频率分析选出一定比例的高流量值并配以相对高的权重系数,目标函数公式如下:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n w(i)^2 (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n w(i)^2 (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{sim})^2} \quad (2)$$

式中:Q_{obs}和 Q_{sim}分别为实测和模拟的日平均流量(m³/s); \bar{Q}_{obs} 为实测流量的算术平均值(m³/s);w 为流量权重系数。相比于等权重的 Nash Sutcliffe 效率系数,以式(2)为目标函数的模型总体模拟效果有所降低,但对于高峰值的模拟效果有明显提高。

基于 HIMS 系统水文模块对日喀则、唐加、工布江达三个水文站日径流过程进行模拟,并挑选实测的年最大 MDF 与模拟值进行比较,分析模型在流量峰值的模拟效果。日平均流量模拟结果见表 3,图 5、图 6。由表 3、图 5、图 6 可知,模型对日径流过程总体与峰值的模拟效果均良好,日径流过程效率系数均在 0.72 以上,年最大日平均流量模拟效率系数均在 0.75 以上。

利用日喀则、唐加、工布江达 3 个水文站 2000 年以前的降水、气温和日径流数据重新率定 HIMS 系统水文模块参数,将 2000 年-2010 年的逐日降水和气温数据作为 HIMS 系统水文模块的输入,模拟三站 2000 年以后的年最大 MDF,并根据三站 IPF~MDF 关系推求年最大 IPF。基于模型模拟的 MDF 推求得到的 IPF 序列(HIMS~MDF~IPF)

表3 日平均流量模拟结果

Table 3 The simulation results of mean daily flow

站名	率定期	<i>NSE-MDF</i>	<i>NSE-AMDF</i>	验证期	<i>NSE-MDF</i>	<i>ANSE-AMDF</i>
日喀则	1980- 1993	0.76	0.75	1994- 2000	0.72	0.82
唐加	1969- 1989	0.85	0.86	1990- 2000	0.83	0.81
工布江达	1991- 1996	0.82	0.84	1997- 2000	0.79	0.87

注: *NSE-MDF* 为日径流过程效率系数; *NSE-AMDF* 为年最大日径流模拟效率系数。

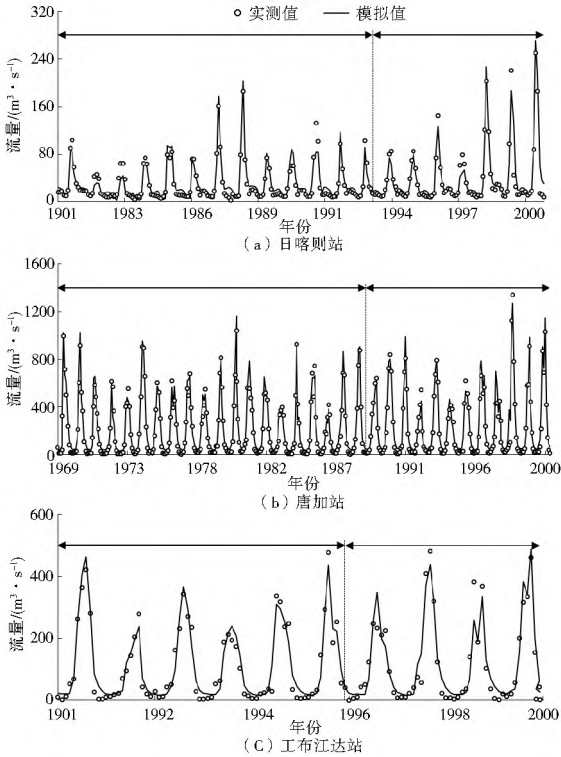


图5 月流量过程模拟和观测值比较

Fig. 5 Comparison of the modeled and observed mean monthly runoff

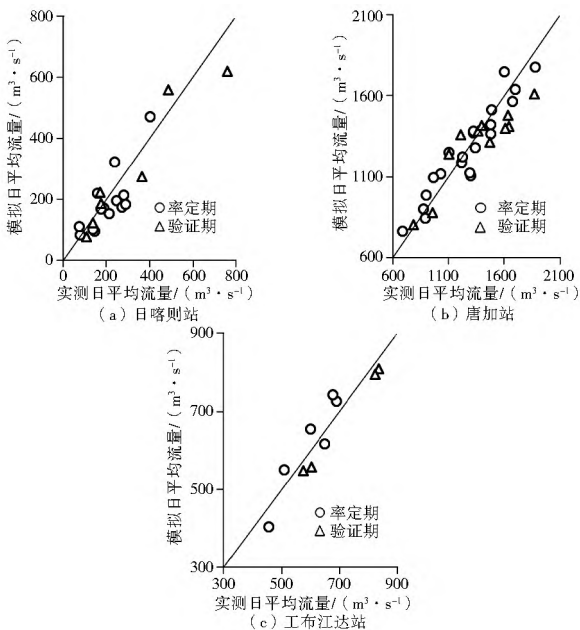


图6 年最大日平均流量模拟和观测值比较

Fig. 6 Comparison of the modeled and observed annual maximum mean daily flow

与通过实测 *MDF* 推求得到的 *IPF* 序列 (*MDF* ~ *IPF*) 组成一个完整的长序列, 从而为缺乏实测洪峰流量地区涉水工程

洪水频率分析提供数据支持, 结果见图7。

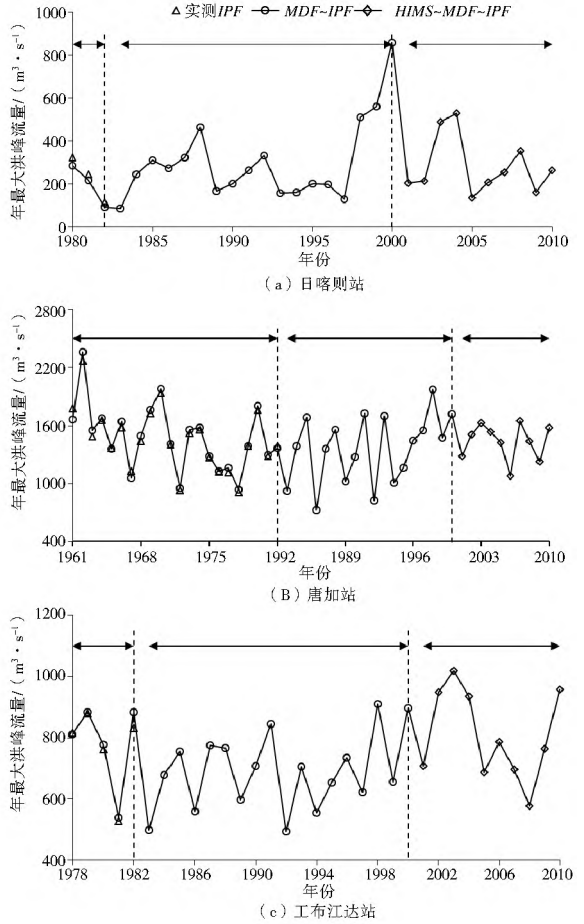


图7 基于 *IPF* ~ *MDF* 关系以及 *HIMS* 模型推求的日喀则、唐加站与工布江达站的洪峰流量序列

Fig. 7 The estimated *IPF* series in the stations of Rikaze, Tangjia and Gongbujiangda based on the relationship between *IPF* and *MDF* and the *HIMS* model

4 讨论

西藏自治区水文测站稀少, 主要分布于雅鲁藏布江干流及其支流上, 控制面积范围在 1 434~ 189 843 km²。流量变化相对于我国东部大河支流, 西藏雅鲁藏布江流域支流的 *IPF* ~ *MDF* 值要明显偏小而且比较稳定。以沃卡河和陕西渭河支流黑河为例, 流域面积分别为 1 434 km² 和 1 481 km², 但沃卡河的 *IPF* ~ *MDF* 值是陕西黑河的 1/3, 变差系数 *C_v* 是陕西黑河的 1/10。究其原因, 与西藏雅鲁藏布江独特的降水特性以及地理特性有很大的关系。与中国内陆地区同等年降水量地区相比, 雅鲁藏布江地区降水强度明显偏小, 以中小雨强为主, 有利于降雨的入渗, 而且西藏地区多为石质山区, 虽不能大量存储地下水, 但地表碎屑层广布使得

入渗的降水与融雪通过地下水出流流入河道。造成西藏河流洪峰涨落缓慢, IPF/MDF 的值较小且稳定。

值得指出的是,应用本文提出的模型与方法对流域径流进行模拟预测时,应特别注意人类活动引起的“水文非静态(Non-stationary)”因素。西藏河流受人类活动影响较小,实测径流数据可认为反映河流的天然状态,流域的降雨径流关系没有发生明显的变化,因而水文模型在校核的基础上可进行历史径流数据的模拟和未来径流趋势的预测。但对于受人类活动影响大的地区,流域的产汇流特性发生了很大的变化,如果利用历史上河流天然状态下的水文气象数据率定的模型参数来预测受人类活动影响后的河川径流量将会产生较大的误差。为减少模型模拟的不确定性,应考虑人类活动的影响。建议在分析径流变化突变点基础上,利用突变点之后的水文气象数据率定模型参数来模拟径流变化,或者利用还原的径流资料进行水文情态的模拟。

5 结论

本文对西藏主要水文测站瞬时洪峰流量与日平均流量间关系进行了研究,并利用 HIMS 系统水文模块与西藏河流稳定的 IPF/MDF 关系对典型河流水文测站 IPF 序列进行了延长。研究结果表明本文提出的计算方法在资料稀缺的西藏地区有较好的精度,同时可望在我国其他稀缺资料的地区做进一步的研发,可望得到适用性的扩展。

(1) 通过分析西藏主要水文测站 IPF/MDF 比值发现, IPF/MDF 稳定性较好,变化范围在 1.02~1.22 之间。面积相当的地区,年降水量越大, IPF/MDF 的值越小。对于有实测洪峰流量序列的测站,利用 IPF/MDF 比值关系由 MDF 推求的 IPF 误差均在 10% 以内,流域面积越大,误差越小。

(2) 相比于短序列实测 IPF 资料,利用 IPF/MDF 比值关系延长后的 IPF 序列频率计算结果更合理。

(3) 基于 HIMS 系统水文模块对西藏雅鲁藏布江三大支流水文测站的日径流过程模拟结果表明,模型对日径流序列总体和高流量值的模拟效果良好。模型模拟结果结合流域稳定的 IPF/MDF 比值关系推求了 3 个典型河流测站 2000 年-2010 年间的 IPF 序列。具有模型定制功能的 HIMS 系统可根据流域的水文特性灵活定制水文模型,避免了单一模型结构适用范围的局限性,可作为稀缺资料地区径流资料插补延长的一种有效工具,广泛应用于稀缺资料地区的水利工程设计、防洪减灾、风险评估以及水资源管理等方面。

(4) 本文基于日径流推求洪峰流量的方法适用于大中型流域,实测数据表明,推求的洪峰流量误差均在 10% 以内。但随着流域尺度减小,径流对影响因素的响应会变得越来越敏感,不同场次洪水间的 IPF/MDF 比值会出现相对较大的差异,水文模拟的难度也相对增大。因此,可以从地理水文学角度出发,在小流域洪水调查基础上进行地区综合,解决小流域洪峰流量的计算问题,为稀缺实测资料地区中小河流治理研究与水利规划提供设计洪水的参考。

参考文献(References):

- [1] Sheng Zhou, Xiliang Zhang, Jinghe Liu. The Trend of Small Hydropower Development in China[J]. Renewable Energy, 2009, 34: 1078-1083.
- [2] 叶守泽, 詹道江. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 236-238. (YE Shouze, ZHAN Daojiang. Engineering Hydrological[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000: 236-238. (in Chinese))
- [3] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 10-12. (GUO Shenglian. Advance and Assessment of Design Flood[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005: 10-12. (in Chinese))
- [4] Sangal B P. Practical Method of Estimating Peak Flow[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1983, 109(4): 549-563.
- [5] Fuller, W E. Flood flows[J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1914, 77: 564-617.
- [6] Taguas E. V, J L Ayuso, A Pena, et al. Testing the Relationship between Instantaneous Peak Flow and Mean Daily Flow in a Mediterranean Area Southeast Spain[J]. Catena, 2008, 75: 129-137.
- [7] Paolo Canuti, Ugo Moisélo. Relationship between the Yearly Maxima of Peak and Daily Discharge for Some Basins in Tuscany[J]. Hydrological Sciences, 1982, 27(2): 111-128.
- [8] Fill, H D, Steiner A. Estimating Instantaneous Peak Flow from Mean Daily Flow Data[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2003, 8(6): 365-369.
- [9] 杜军, 马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 375-382. (DU Jun, MA Yurcai. Climatic Trend of Rainfall Over Tibet Plateau from 1971 to 2000[J]. Journal of Geographical Science, 2004, 59(3): 375-382. (in Chinese))
- [10] 徐宗学, 程磊. 分布式水文模型研究与应用进展[J]. 水科学进展, 2010, 41(9): 1009-1019. (XU Zongxue, CHENG Lei. Progress on Studies and Applications of the Distributed Hydrological Models[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(9): 1009-1018. (in Chinese))
- [11] Raman H, Mohan S. Models for Extending Streamflow Data: A Case Study[J]. Hydrological Sciences, 1995, 40(3): 381-393.
- [12] Liu Changming, Wang Zhonggen, Zhen Hongxing, et al. Development of Hydroinformatics Modelling System and Its Application[J]. Science in China Series E: 208, 38(3): 350-360.
- [13] 刘昌明, 郑红星, 杨胜天, 等. 基于 HIMS 的水文过程多尺度综合模拟[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 268-273. (LIU Changming, ZHEN Hongxing, YANG Shengtian, et al. Multiscale Integrated Simulation of Hydrological Processes Using HIMS with Verified Case Studies[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science): 2010, 46(3): 268-273. (in Chinese))
- [14] Nash J E, Sutcliffe J V. River Forecasting Using Conceptual models I: A Discussion of Principles[J]. Journal of Hydrology, 1970, (10): 282-290.