

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.001

冰雪融水与雨水混合洪水的预报方案

陆玉忠^{1,2}, 陆宝宏¹, 陆桂华¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 北京中水科水电科技开发有限公司, 北京 100038)

摘要: 基于 NAM 融雪径流计算思路, 改进了 SRM 融雪径流模型, 使 SRM 与三水源新安江流域预报模型形成统一整体, 构建了冰雪融水与雨水混合洪水预报模型. 为进一步提高洪水预报精度, 弥补积雪量、气温等相关因子实测资料的不足, 考虑运用实测水位(流量)资料进行实时校正. 同时运用卫星遥感图及 GIS 系统工具, 结合模型参数调试, 实现模型参数的确定. 将该模型应用于吉林台水库冰雪融水与雨水混合洪水预报中, 结果表明, 拟合过程与实际情况基本相符, 该模型可以用于冰雪融水与雨水混合实时洪水预报中.

关键词: 三水源新安江流域预报模型 降雨径流模型 SRM 洪水预报

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)02-0119-07

在高纬度地区或高山带, 降雪、积雪及冰雪冻融过程是流域水文的重要特征. 由于冰雪的介入, 流域水文过程同时受水量平衡和热量平衡的控制, 热量或温度成为必须考虑的水文因素^[1-2]. SRM (snowmelt-runoff model)^[3-7] 是专门用于模拟和预报山区流域融雪径流的水文模型. 该模型采用相对简单的度·时系数法计算融雪径流, 模型参数取决于流域地理、气候和水文特征, 因而适用于气候变换条件下的径流预报, 是一类确定性、概念性、分布式和基于物理原理的水文模型^[8-11]. 由于遥感积雪监测技术的迅猛发展, 解决了 SRM 积雪覆盖的输入问题^[12].

丹麦水力研究所(Danish Hydraulic Institute, DHI)研发的 Mike11 洪水预报系列模型中, 降雨径流模型(NAM)是一个集总式的确定性概念模型, 主要用来模拟降雨产流和汇流. 它将土壤含水量分成积雪储水层(snow storage)、地表储水层(surface storage)、浅层或根区储水层(lower zone storage)和地下水储水层(ground water storage)³个部分, 分别进行连续计算, 以模拟流域中各种相应的水文过程.

本文基于 NAM 融雪径流计算的思路, 将 SRM 改进后再加入三水源新安江流域预报模型, 构建冰雪融水与雨水混合洪水预报模型, 并运用实测水位(流量)资料进行实时校正, 以进一步提高洪水预报精度, 弥补积雪量、气温等相关实测资料的不足, 实现冰雪融水与雨水混合产流的模拟.

1 冰雪融水与雨水混合洪水预报模型

1.1 预报模型的构建

预报模型是洪水预报系统的核心, 预报精度和预见期始终是功能研发的第一目标, 因此, 本文降雨径流的预报选用三水源新安江流域预报模型. 三水源新安江流域预报模型属准分布式模型, 考虑到降雨在空间上分布的不均匀问题, 将全流域分成许多小流域单元, 对每个流域单元单独进行产汇流计算. 冰雪融水与雨水混合洪水预报选用 SRM 模型, 具体组合构建时需要做较大的改进.

1.2 SRM 的改进

SRM 可根据高程的不同分不同的带区, 采用分布计算模式, 主要考虑不同带区气温及积雪量的差异. SRM 原理是分别计算每天的融雪和降水所产生的水量, 并将这些水量叠加到计算的退水流量上, 得到每天的日径流量. 与利用能量平衡法计算融雪的模型相比, SRM 采用度·时系数法, 大大简化了模型在融雪方面的计算.

根据洪水预报的功能目标、实际要求、实时资料及三水源新安江流域预报模型的结构, 本文构建的冰雪融水与雨水混合洪水预报模型需对 SRM 进行以下几方面的改进:

收稿日期: 2010-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(50979023)

作者简介: 陆玉忠(1965—), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 主要从事水库调度综合自动化系统开发研究. E-mail: luyuzhong@163.com

a. 将日模型调整为时段计算模型. SRM 是用来模拟融雪径流的日模型, 难以模拟中小流域的洪水过程. 因此将日模型调整为时段计算模型, 计算时长可以适应中小流域洪水陡涨陡落的特性, 满足水库洪水调度的实际需要.

b. 降雨产流部分计算采用三水源新安江流域预报模型. SRM 用降雨径流系数推算降雨产流量, 过于简单. 降雨径流系数是随时间不断变化的, 与降雨强度、下垫面条件等有关, 很难确定. 因此采用已经得到广泛应用、相对成熟的三水源新安江流域预报模型替代 SRM 降雨产流部分的预报.

c. 增加降雨融雪度·时系数. SRM 没有考虑降雨条件下增加的融雪量. 在同样的温度条件下, 降雨、产流对积雪的冲刷, 会消融更多的积雪. 降水条件下增加的融雪量可按照 NAM 的公式进行计算:

$$\Delta Q_s = C_{\text{rain}} P (T - T_0)$$

(1)

式中: C_{rain} ——降雨融雪度·时系数; P ——降水量; T ——时段平均温度; T_0 ——用户设置的融雪临界温度.

d. 设置降水及晴天条件下不同的气温调整参数. 气温是计算融雪量最直接的参数, 但流域上布置的气温站点较少, 尤其是坡度较大的流域, 气温垂向变化明显, 需采用温度修正值调整. 根据 NAM 融雪径流的计算思路, 降水及晴天条件下垂直方向上气温的变化程度是不同的, 设置不同的气温调整参数可减小计算误差.

e. 融雪总水量到流域出口的汇流计算运用单位线法. SRM 采用流量计算公式显式递推, 只能预报 1 个时段的流量, 难以满足洪水预报的实际需要. 将日模型改为时段模型, 运用单位线法进行汇流计算, 可预报多个时段的融雪流量.

1.3 模型结构与流程

将三水源新安江流域预报模型与改进的 SRM 组合, 构建冰雪融水与雨水混合洪水预报模型, 其结构如图 1 所示. 图 1 中, 模型参数 B 为蓄水容量曲线的方次; W_M 为流域蓄水容量; K 为蒸散发能力折算系数; W_{UM} 为上层蓄水容量; W_{LM} 为中层蓄水容量; C 为深层蒸散发系数; I_{MP} 为不透水面积占全流域面积之比; E_X 为自由水蓄水容量曲线指数; S_M 为流域平均自由水蓄水容量; K_G 为自由水蓄水库对地下径流出流系数; K_{SS} 为自由水蓄水库对壤中流的出流系数; K_{KSS} 为壤中流水库的消退系数; K_{KG} 为地下水库的消退系数; U_H 为汇流单位线. 整个模型的输入包括流域上各雨量测站的降雨过程、蒸发站的蒸发过程、气温站的气温变化过程、按高程所分带区的积雪覆盖率过程.

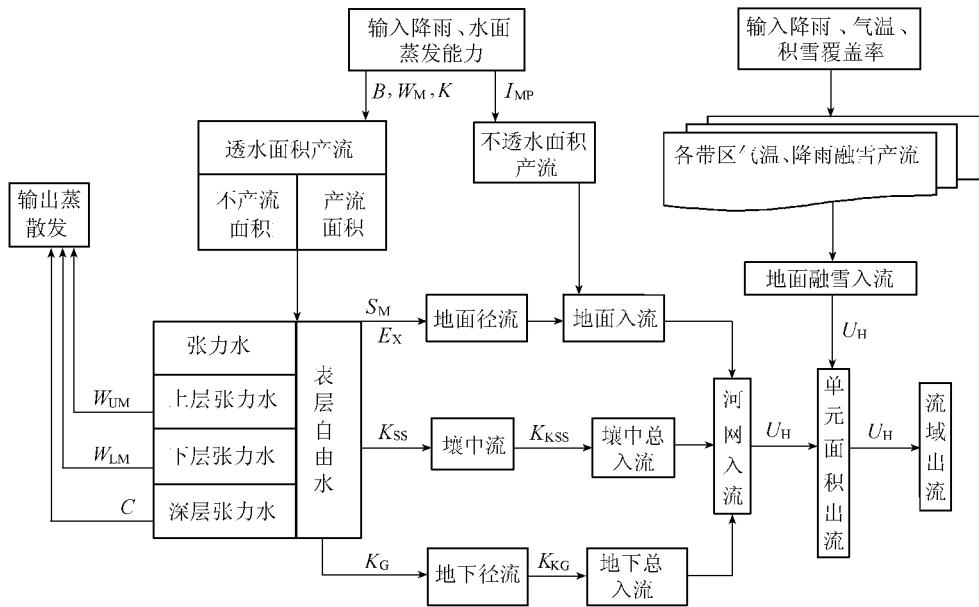


图 1 冰雪融水与雨水混合洪水预报模型结构与流程

Fig. 1 Structure and flow chart of hybrid model of Xin'anjiang model and modified snowmelt runoff model

2 模型应用

2.1 应用流域概况

新疆伊犁的喀什河为伊犁河的第二大支流, 吉林台一级水电站位于喀什河流域中部的吉林台峡谷中. 峡

谷以上河段为喀什河的上游段,河道平均比降为 0.8% 左右.喀什河流域森林遍布,人口稀少,受人类活动影响较小.流域形状呈狭长的柳叶形,为羽状水系,沿途有 40 余条支流汇入,北岸多于南岸.喀什河流域总面积 9578 km²,河长 297 km,其中吉林台一级水电站坝址以上流域面积 6163 km²,河长 204 km.喀什河径流是以冰川积雪融水补给为主,降雨补给为辅,地下水补给次之的混合型补给.喀什河多年平均降水量 353.4 mm,多年平均蒸发量 1471.8 mm,吉林台一级水电站坝址多年平均流量 117 m³/s.

吉林台一级水电站水情自动测报系统于 2004 年 7 月安装并试运行.水电站遥测站网由施工期水情自动测报的站网以及坝前水位站、坝后水位站、中心站组成,共计站点 13 个,其中雨量气温站 3 个,雨量水位站 4 个,纯雨量站 5 个,中心站 1 个,其分布如图 2 所示.由于水情自动测报系统运行以来,遥测资料及水位流量资料的短缺和不完整,本文只能有选择地采用该遥测资料,对模型参数调试的准确性有较大影响.

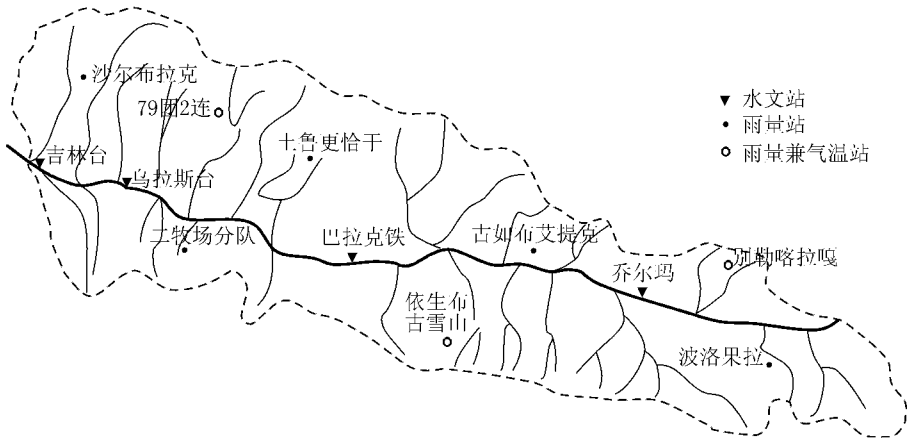


图 2 吉林台水库流域水系及测站分布

Fig. 2 River systems in Jilintai Reservoir basin and distribution of observation stations

2.2 模型的建立

根据资料情况、吉林台水库流域洪水过程及水库特性,计算时段长取为 3 h.按新安江分散模式的要求,将吉林台水库控制流域面积 6163 km² 划分为 4 大块,即乔尔玛以上、乔尔玛-巴拉克铁、巴拉克铁-乌鲁斯台、乌鲁斯台-吉林台,各单元块的有关面积、测站及权重等特征资料见表 1.

表 1 吉林台水库流域单元划分

Table 1 Division of Jilintai Reservoir basin and code weight of rainfall stations

块号	块名	单元块雨量站			面积/km ²
		站名	站码	权重	
1	乔尔玛以上	别勒喀拉嘎	10084	0.30	1015
		乔尔玛	11084	0.30	
		波洛果拉	22084	0.40	
2	乔尔玛-巴拉克铁	乔尔玛	11084	0.20	2311
		古如布艾提克	12084	0.30	
		依生布古雪山	13084	0.30	
		巴拉克铁	14084	0.20	
		巴拉克铁	14084	0.20	
3	巴拉克铁-乌鲁斯台	吐鲁更恰干	15084	0.20	1634
		79 团 2 连	16084	0.20	
		二牧场分队	17084	0.20	
		乌鲁斯台	18084	0.20	
		乌鲁斯台	18084	0.30	
4	乌鲁斯台-吉林台	萨尔布拉克	19084	0.40	1203
		吉林台	20084	0.30	

建立流域面积-高程曲线划分吉林台水库流域带,以得到分带区面积和平均高程.SRM 一般以某一等高距进行流域分带,然后在每个分带内选一条平分该分带面积的等高线作为平均高程,即带内平均高程以上和以下的面积相等.得到平均高程后,把流域测站的气温根据温度直减率(或修正值)插值到平均高程上使用,

采用 GIS 空间分析功能分析流域 DEM 可以方便地得到面积-高程曲线,进而求得各带区平均高程所对应的区域面积.吉林台水库控制流域按照流域高程分成 10 个区域,各区域平均高程从 1 500 m 按等高 300 m 递增至 4 200 m.

2.3 模型参数确定

2.3.1 带区积雪覆盖率衰减曲线

在融雪期,积雪的不断消融和流域积雪覆盖率的不断缩小是一个非常显著的特征.作为重要的基本输入驱动变量,每日积雪覆盖率的准确计算关系到模型模拟效果的好坏.理论上,积雪覆盖率可以利用每天卫星过境得到的遥感图像经过积雪制图得到,但由于传感器、云层等因素的干扰,积雪覆盖率要进行最大化合成才能得到.吉林台水库控制流域积雪覆盖率分析采用中巴资源卫星 CBERS 遥感影像,将流域高程分带图和流域积雪分类图叠加,并运用 GIS 信息提取功能分带提取.

2.3.2 融雪模型参数

流域各块所采用的温度代表测站、温度修正系数、临界气温、降雨融雪修正系数见表 2.由于降雨融雪度·时系数与融雪度·时系数采用同一参数,因此增加了降雨融雪修正系数.其中温度修正系数可根据测站高程、带区中心线高程及温度直减率进行调整.临界气温值在融雪径流模型中相当关键,SRM 中的降水根据临界气温值判断某次降水为雪还是为雨,当气温高于临界气温值时为降雨,反之为降雪.临界气温值的确定直接影响产流.

表 2 吉林台水库流域各子流域融雪模型基本参数

Table 2 Basic model parameters of each sub-basin of Jilintai Reservoir basin

块号	站名	站号	温度修正系数	临界气温/℃	降雨融雪修正系数
1	别勒喀拉嘎	12085	1.00	1.0	0.6
2	依生布古	13085	0.95	1.5	0.6
3	79 团 2 连	16085	0.95	1.5	0.6
4	79 团 2 连	16085	0.95	1.5	0.6

注 地块 4 没有设气温站,故采用临近站代替.

一般融雪径流模型中临界气温值高于 0℃,而随着积雪的融化,临界气温值逐渐接近 0℃.降雨融雪修正系数是用来修正根据融雪度·时系数计算降雨产生的融雪量,需通过产流量分析及模型参数调试确定.

融雪度·时系数在模型中是用来计算融雪水深的一个核心参量,它的获取有 2 种途径:(a)用雪枕、雪槽实地观测;(b)用经验公式计算.融雪度·时系数需要在不同的流域及不同的融雪时期进行适当调整,吉林台水库流域各子流域融雪径流模型每月融雪度·时系数见表 3.

表 3 吉林台水库流域各子流域融雪径流模型每月度·时系数

Table 3 Monthly model positive degree-hour factors of each sub-basin of Jilintai Reservoir basin

块号	度·时系数/(mm·(℃·h) ⁻¹)											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
4	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

平均高程气温调整值关系到测站点的气温插值到平均高程的气温,进而影响每个分带积雪消融量的计算,是一个重要的模型参数.吉林台水库流域水情自动测报系统在不同海拔高度建了 3 个气温站点,根据站点气温与高程关系的分析,得到降雨与无雨条件下温度直减率每 100 m 分别为 0.4℃和 0.7℃.吉林台水库流域各子流域融雪径流模型区域面积、温度修正值见表 4.

各子流域融雪汇流采用无因次单位线法,参数调试的结果见表 5.

2.3.3 三水源新安江流域预报模型参数

经过参数调试,各块三水源新安江流域预报模型参数、各块河网汇流单位线及相应河道汇流曲线见表 6~8.从各模型参数表可以看出,各块同一参数变化不大,只略有差异,反映了各块流域内河道、流域下垫面及土壤覆盖、岩石裸露小有差别,参数基本合理可靠.

2.3.4 结果分析

因融雪径流模型参数增多,且资料缺乏,本文构建的冰雪融水与雨水混合洪水预报模型参数调试、率定采用人机交互方法进行,并对待定参数变化范围给予符合一定物理概念的可行性约束.对流域内 4 大块面积

表 4 吉林台水库流域各子流域融雪径流模型区域面积、温度修正值

高程/ m	地块 1			地块 2			地块 3			地块 4		
	区域面积/ km ²	无雨温度 修正值	降雨温度 修正值	区域面积/ km ²	无雨温度 修正值	降雨温度 修正值	区域面积/ km ²	无雨温度 修正值	降雨温度 修正值	区域面积/ km ²	无雨温度 修正值	降雨温度 修正值
1 500	0	12.6	7.2	0	10.5	6.0	200	10.5	6.0	200	10.5	6.0
1 800	0	10.5	6.0	11	8.4	4.8	500	8.4	4.8	300	8.4	4.8
2 100	0	8.4	4.8	200	6.3	3.6	300	6.3	3.6	200	6.3	3.6
2 400	2	6.3	3.6	300	4.2	2.4	200	4.2	2.4	200	4.2	2.4
2 700	8	4.2	2.4	400	2.1	1.2	200	2.1	1.2	150	2.1	1.2
3 000	35	2.1	1.2	500	0	0	150	0	0	80	0	0
3 300	200	0	0	500	- 2.1	- 1.2	84	- 2.1	- 1.2	60	- 2.1	- 1.2
3 600	450	- 2.1	- 1.2	350	- 4.2	- 2.4	0	- 4.2	- 2.4	13	- 4.2	- 2.4
3 900	250	- 4.2	- 2.4	50	- 6.3	- 3.6	0	- 6.3	- 3.6	0	- 6.3	- 3.6
4 200	70	- 6.3	- 3.6	0	- 8.4	- 4.8	0	- 8.4	- 4.8	0	- 8.4	- 4.8

表 5 吉林台水库流域各子流域融雪汇流单位线

河道汇流区间	单位线								
	时段 1	时段 2	时段 3	时段 4	时段 5	时段 6	时段 7	时段 8	时段 9
地块 1-乔尔玛	0.04	0.1	0.16	0.2	0.18	0.12	0.10	0.06	0.04
地块 2-巴拉克铁	0.02	0.04	0.10	0.2	0.30	0.14	0.10	0.08	0.02
地块 3-乌拉斯台	0.02	0.04	0.10	0.2	0.30	0.14	0.10	0.08	0.02
地块 4-吉林台	0.02	0.04	0.10	0.2	0.30	0.14	0.10	0.08	0.02

表 6 吉林台水库流域三水源新安江流域预报模型参数

块号	蓄水容量 曲线方次	深层蒸散 发系数	不透水面 积占全流 域面积之 比	自由水 蓄水容量 曲线指数	蒸散发 能力计算 系数	上层蓄 水容量	中层蓄 水容量	深层蓄 水容量	平均自由 水蓄水容 量	自由水蓄 水库对地 下径流出 流系数	自由蓄水 库对壤中 流出流系 数	地下水蓄 库消退系 数	壤中流水 库消退系 数
1	0.2	0.1	0.01	1.2	0.2	10.0	50.0	40.0	30.0	0.12	0.08	0.997	0.88
2	0.2	0.1	0.01	1.2	0.3	10.0	50.0	40.0	30.0	0.25	0.10	0.996	0.92
3	0.2	0.1	0.01	1.2	0.4	10.0	50.0	40.0	30.0	0.25	0.10	0.996	0.92
4	0.2	0.1	0.01	1.2	0.4	10.0	50.0	40.0	30.0	0.25	0.10	0.996	0.92

表 7 吉林台水库流域各子流域河
网单位线

块号	单位线					
	时段 1	时段 2	时段 3	时段 4	时段 5	时段 6
1	0.1	0.3	0.4	0.1	0.08	0.02
2	0.1	0.3	0.4	0.1	0.08	0.02
3	0.1	0.3	0.4	0.1	0.08	0.02
4	0.1	0.3	0.4	0.1	0.08	0.02

表 8 吉林台水库流域各单元及子流域间
河道汇流单位线

河道汇流区间	单位线			
	时段 1	时段 2	时段 3	时段 4
乔尔玛-巴拉克铁	0.1	0.8	0.1	
巴拉克铁-乌拉斯台	0.1	0.6	0.2	0.1
乌拉斯台-吉林台	0.1	0.6	0.2	0.1

用 2007 年连续汛期(时段长 3 h)实测资料进行模型参数调试,其中 2007 年最大一场洪水吉林台水库流域各控制站流量的预报过程与实测过程的对比如图 3 所示.由图 3 可见,巴拉克铁与吉林台站缺实测流量资料,无法对比显示,但从上下游流量相关度分析看是合理的.上游控制站乔尔玛、巴拉克铁站流量受气温影响变化较明显,主要原因是 7 月底这 2 块面积有相对较大的积雪覆盖率,气温融雪所占比例相对较大,而乌拉斯台、吉林台站的流量中气温融雪量所占比例相对较小,流量过程受气温的影响不很明显,拟合过程与实际情况基本相符.由于实测资料的局限性,没有进行场次洪水及合格率的统计分析.

3 结 语

在分析融雪水文模型最新研究进展、高山融雪水文特性的基础上,基于 NAM 融雪径流计算思路,改进了

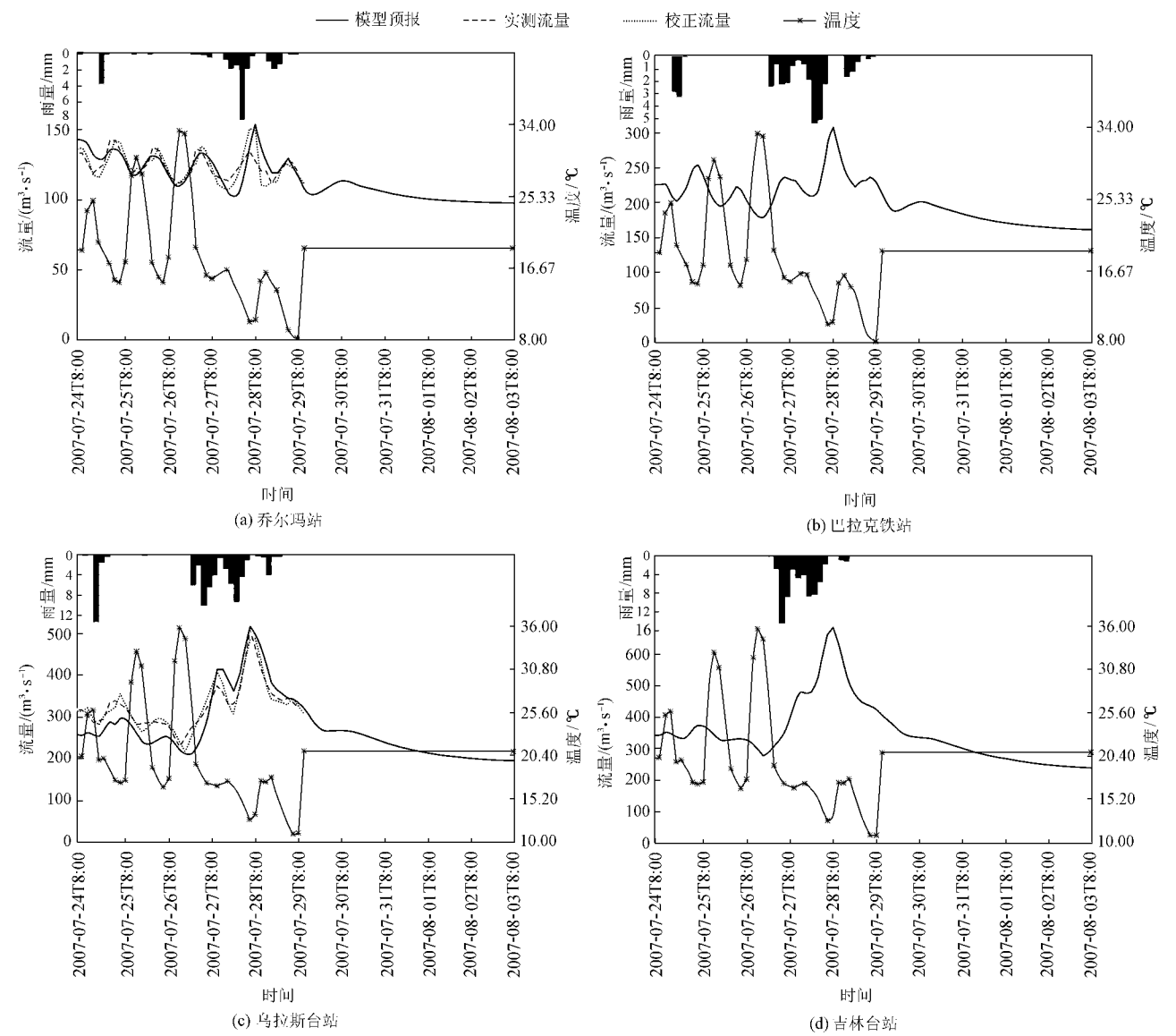


图 3 各控制站洪水模拟结果

Fig. 3 Simulated results of various observation stations

SRM 融雪径流模型,使 SRM 与三水源新安江流域预报模型形成一个统一整体,构建冰雪融水与雨水混合洪水预报模型.运用卫星遥感图及 GIS 系统工具,结合模型参数调试,确定模型参数,最终实现冰雪融水与雨水混合实时洪水预报功能.研究结果表明:

- a. SRM 在进行了将日模型调整为时段计算模型、降雨产流部分计算采用三水源新安江流域预报模型、增加降雨融雪度·时系数、设置降水及晴天条件下不同的气温调整参数、融雪总水量到流域出口的汇流计算运用单位线法等改进后,冰雪融水与雨水混合洪水预报模型拟合过程与实际情况基本相符.
- b. 采用改进的 SRM 与三水源新安江流域预报模型整合的预报模型,建立实时洪水预报系统,不仅可直接用于降雨径流的常规洪水预报,也可推广到地处高寒的山区用于实时冰雪融水与雨水混合洪水预报.

参考文献:

[1] 康尔泗,程国栋,董增川.中国西北干旱区冰雪水资源与出山径流[M].北京:科学出版社,2002.

[2] 张寅生,姚檀栋,蒲健辰,等.青藏高原唐古拉东克玛底河流域水文过程特征分析[J].冰川冻土,1997,19(3):214-222. (ZHANG Yin-sheng, YAO Tan-dong, PU Jian-chen, et al. The features of hydrological processes in the Dongkemadi River Basin, Tanggula Pass, Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1997, 19(3): 214-222. (in Chinese))

[3] 李弘毅,王建.SRM 融雪径流模型在黑河流域上游的模拟研究[J].冰川冻土,2008,39(5):769-775. (LI Hong-yi, WANG

- Jiang. The snowmelt runoff model applied in the upper Heihe River Basin[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 39(5): 769-775. (in Chinese))
- [4] 刘文, 李智录, 李抗彬. SRM 融雪径流模型在塔什库尔干河流域的应用研究[J]. 水利技术监督, 2007, 15(3): 43-46. (LIU Wen, LI Zhi-lu, LI Kang-bin. Application of SRM snow-melt runoff model in Tashikuegan river basin[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2007, 15(3): 43-46. (in Chinese))
- [5] 刘俊峰, 杨建平, 陈仁升, 等. SRM 融雪径流模型在长江源区冬克玛底河流域的应用[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1149-1159. (LIU Jun-feng, YANG Jian-ping, CHEN Ren-sheng, et al. The simulation of snowmelt runoff model in the Dongkemadi River Basin, headwater of the Yangtze River[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(11): 1149-1159. (in Chinese))
- [6] 马洪, 程国栋. SRM 融雪径流模型在西天山巩乃斯河流域的应用实验[J]. 科学通报, 2003, 48(19): 2088-2093. (MA Hong, CHENG Guo-dong. SRM snowmelt runoff model in the West Tianshan Gongnaisi River Watershed experiment [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(19): 2088-2093. (in Chinese))
- [7] MARTINEC J, RANGO A. Parameter values for snowmelt runoff modeling[J]. Journal of Hydrology, 1986, 84: 197-215.
- [8] MARTINEC J, RANGO A, ROBERTS R. The snowmelt runoff model (SRM) user's manual (Version 4.0) [R]. Beltsville: USDA-ARS, Hydrology and Remote Sensing Laboratory, 1998.
- [9] RANGO A. The response of areal snow cover to climate change in a snowmelt runoff model[J]. Annals of Glaciology, 1997, 25: 232-236.
- [10] SEIDEL K, EHRLER C, MARTINEC J. Effects of climate change on water resource and runoff in an alpine basin[J]. Hydrological Processes, 1998, 12(10): 1659-1669.
- [11] BECKER A, SERBAN P. Hydrological models for water-resources system design and operation [R]. Operational Hydrological Report, Geneva: WMO, 1990.
- [12] 彭定志, 熊立华, 郭生练, 等. MODIS 在水文水资源中的应用与展望[J]. 水科学进展, 2004, 15(5): 683-688. (PENG Ding-zhi, XIONG Li-hua, GUO Sheng-lian, et al. Advances in applications of MODIS to hydrology and water resources [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(5): 683-688. (in Chinese))

Flood forecast schemes for hybrid modeling of snowmelt and rainfall runoffs

LU Yu-zhong^{1,2}, LU Bao-hong¹, LU Gui-hua¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Beijing IWHR Technology, Beijing 100038, China)

Abstract : Based on the calculation thinking of snowmelt runoff by means of the NAM, the snowmelt runoff model (SRM) was improved so that it was incorporated into three-water-resource Xin'anjiang model as a unified whole. Accordingly, a hybrid model for flood forecast of snowmelt and rainfall runoffs was established. In order to further raise flood forecast precision and to compensate insufficient observed data such as snow and temperature, real-time correction was carried out by use of the observed water levels (discharges). The model parameters were determined by means of the satellite remote sensing maps and GIS system tools and combined with their adjustment. The proposed model was applied to the hybrid forecast of snowmelt and rainfall runoffs of Jilintai Reservoir. The results show that the fitting process of the proposed model agrees with the actual situation, and it can be employed in real-time forecast of snowmelt and rainfall runoffs.

Key words : Xin'anjiang model ; NAM ; snowmelt runoff model ; flood forecast