

## SRM融雪径流模型在乌鲁木齐河源区的应用研究

怀保娟<sup>1</sup>, 李忠勤<sup>1,2</sup>, 孙美平<sup>1</sup>, 肖燕<sup>3</sup>

(1 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室/中国科学院天山冰川站, 甘肃 兰州 730000; 3 聊城大学环境与规划学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:** 乌鲁木齐河源区发育现代冰川7条, 冰川面积5.6 km<sup>2</sup>, 并有大范围的积雪, 冰雪消融期融雪径流对乌鲁木齐河贡献显著。应用SRM(snowmelt-runoff model)融雪径流模型来探讨乌鲁木齐河源区融雪期径流情况, 利用度日方法, 由流域本身特征及参变量获取方法的深入分析来率定模型参数, 应用模拟指标Nash-Sutcliffe系数 $R^2=0.702$ 和积差 $D_r=6.81\%$ 来评价模型表现, 研究发现: (1)气温、降水作为该模型的直接驱动变量对模型的模拟较为敏感。尝试对乌鲁木齐河源区的气温、降水数据进行IDW插值并进行修正, 使得模型模拟精度提高, 对模型变量的输入精度问题上提供了新的思路; (2)不同高度带上积雪的度日因子并不是稳定的, 而度日因子的选取与调整对模型也非常重要; (3)模型本身的局限性也导致模拟精度的降低。结果表明SRM模型可在乌鲁木齐河流域推广应用, 这必将对认识和利用乌鲁木齐河流域冰雪水资源具有重要意义。

**关键词:** SRM融雪径流模型; 融雪径流; MODIS; IDW; 乌鲁木齐河源区

**中图分类号:** P931.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6060(2013)01-0041-08(41~48)

融雪径流为我国西部山区河流地表径流的重要组成部分, 估算与模拟融雪径流相当重要。目前, 融雪径流模型种类较多, 主要分为物理性模型和经验性模型。物理性模型在体现融雪过程的物理学意义以及研究复杂情况的融雪量计算方面具有很大优势, 但需要精确地描述这些物理细节的数据。经验性模型需要的数据较少且较简单, 在资料相对缺乏, 地面观测困难的山区流域取得较好的效果。

SRM融雪径流模型(snowmelt-runoff model)是经验性模型的典型代表。是20世纪80年代初由瑞士科学家Martinec和Rango等人提出, 已在全球20多个国家100多条流域进行了试验和应用<sup>[1-3]</sup>。由于SRM模型简单易用且精度较高, 学者们进行了深入研究并取得了较多成果。Rango曾多次对SRM模型的参数进行修正, 使得模型能够更为广泛地推广<sup>[4]</sup>; Brubaker修正了度日因子的提取不当问题<sup>[5]</sup>; Immerzeel<sup>[6]</sup>等人运用SRM模型来研究气候变化对亚

洲水塔的影响; SRM在恒河流域应用, 研究发现模型没有流域尺度与高度上的限制, 表明并非只能在小流域尺度上应用<sup>[7]</sup>。国内学者针对SRM模型也进行了较多的研究, 马虹将模型应用到西天山巩乃斯河流域取得良好效果, 显示出该模型在我国西部内陆干旱地区的良好应用前景<sup>[8]</sup>; 冯学智运用改进后的SRM模型, 对玛纳斯河流域进行了逐日流量的数值模拟<sup>[9]</sup>; 王建在Alps山区流域重点研究了利用GIS和遥感数据获取SRM模型中的关键参数和因子问题<sup>[10]</sup>。而随着遥感技术的发展, 融雪模型必将获得更好的发展<sup>[11-13]</sup>。

乌鲁木齐河源区的径流主要由冰川融水和季节积雪消融形成, 河源区水文点的径流直接反应了冰雪消融的过程。因此对源区融雪径流的模拟对认识乌鲁木齐河流域水文情况具有现实意义。作为高山区的积雪模拟, 由于缺少气温、降水等资料, 所以乌鲁木齐河流域融雪径流的模拟仍处于空白阶段,

收稿日期: 2012-04-28; 修订日期: 2012-07-08

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951404); 中科院知识创新重要院方向项目(KZCX2-EW-311); 国家自然科学基金项目(1141001040; 41101066; J0930003/J0109); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(NWNU-LKQN-10-35)

作者简介: 怀保娟(1988-), 女, 硕士, 研究方向: 水文遥感。Email: huai baojuan@126.com

通讯作者: 李忠勤, 研究员, 博导, 主要从事冰川与环境方面的研究。Email: lizq@lzb.ac.cn

本文以乌鲁木齐河源区为研究区域,以2008年5~8月降水、气温、遥感数据为基础,运用SRM模型进行融雪径流模拟,分析并讨论,以期对其它流域的应用提供参考。

## 1 研究区概况与数据

### 1.1 研究区概况

乌鲁木齐河流域位于 $86^{\circ}45' \sim 87^{\circ}56'E$ , $43^{\circ}00' \sim 44^{\circ}07'N$ ,流域总面积 $4\,684\text{ km}^2$ 。山区流域山势高,坡降大,垂直地带性明显,3 600 m以上被积雪和冰川覆盖,是现代冰川发育区,平均雪线高度为3 780 m,雪线以上面积 $102.2\text{ km}^2$ ,占山区流域面积9.6%。流域源于天山中断天格尔二峰,由多条冰川融水汇集乌鲁木齐河源头,汇流后年径流量 $1 \times 10^8\text{ m}^3$ ,主要产流时间为5~9月,流域是冰雪融水和降雨混合型补给的河流。山区流域土壤的分布具有明显的垂直地带性特征,河源区总控水文站海拔以上代表高山带,下垫面由冰川、积雪、寒冻砾漠和高山草甸组成,植被垂直分带明显<sup>[14]</sup>。

本文研究区域为总控水文断面以上的乌鲁木齐河源区(图1),集水面积为 $28.9\text{ km}^2$ ,高程范围介于3 319~4 461 m之间,流域内发育现代冰川7条,冰川面积为 $5.6\text{ km}^2$ 。总控水文站,主要用于观测河

源区的积雪和7条冰川总融水径流。3个水文断面均装有自计水位计,测流主要用流速仪法,即时流量由水位—流量关系线求得。气象观测项目主要为气温、降水、湿度、蒸发、地温、日照等。

### 1.2 数据准备

**1.2.1 DEM数据** DEM数据来源于2003年的数字高程产品SRTM3,空间分辨率为 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ 。根据处理好的SRTM3数据,以500 m为间隔,将河源区分为三个高程带。流域分带面积是SRM模型中重要的参数,表1及图2是按500 m等高距分带的3个高程带及各高程带的面积、高程范围和平均高程。

**1.2.2 遥感数据** MODIS数据具有周期短,时相多、成像范围大、时实性强、成本低等优点,因而非常有利于积雪变化的动态监测<sup>[15]</sup>。本研究所用积雪覆盖图由MODIS 8 d合成积雪覆盖产品MOD10A2计算获得,这样最大程度地降低了云层的影响。该产品利用雪在可见光波段强反射,短波红外波段强吸收的特点,选用归一化积雪指数NDSI提取积雪。

$$NDSI = (Ref_{MODIS4} - Ref_{MODIS6}) /$$

$$(Ref_{MODIS4} + Ref_{MODIS6}) > 0.4, \quad (1)$$

选用2008年乌鲁木齐河流域5~8月份的16景MODIS10A2影像作为遥感数据源。

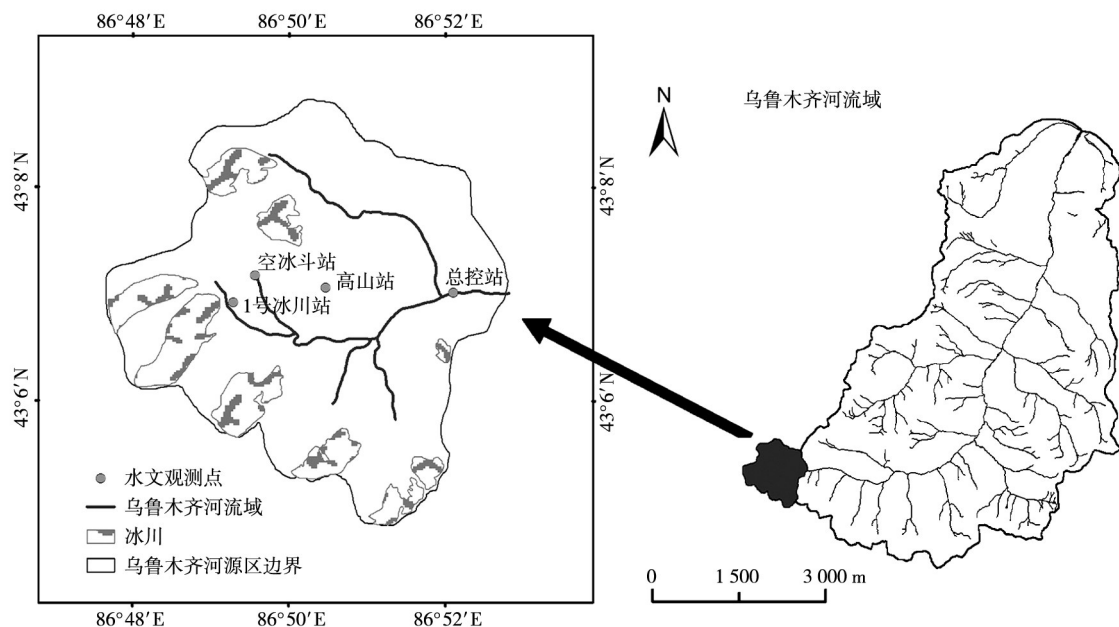


图1 乌鲁木齐河源区

Fig.1 Headwaters region of Urumqi River

表1 乌鲁木齐河源区高程分带

Tab.1 Zone of elevation for headwaters region of Urumqi River

| 高程分带 | 高程范围 / m      | 平均海拔 / m | 面积 / km <sup>2</sup> |
|------|---------------|----------|----------------------|
| A    | 3 319 ~ 3 669 | 3 560.79 | 6.67                 |
| B    | 3 669 ~ 4 019 | 3 954.72 | 14.48                |
| C    | 4 019 ~ 4 461 | 4 212.97 | 7.75                 |

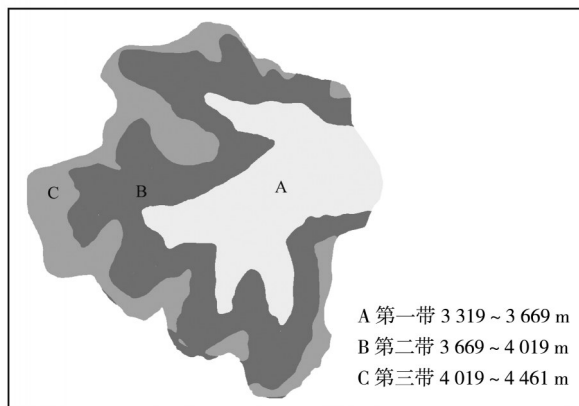


图2 乌鲁木齐河源区高程分布

Fig.2 Distribution map of elevation for headwaters region of Urumqi river

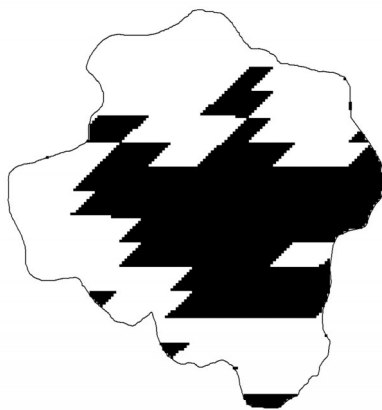
图3 乌鲁木齐河源区2008年第171 d河源区的积雪  
(黑色为无积雪区)

Fig.3 Snow accumulation of headwaters region for Urumqi River in 171th day in 2008(snow free in black region)

为了提取流域和高程带雪盖面积,使用MODIS数据与DEM数据进行栅格代数运算。将MODIS数据与DEM数据都转换到统一投影坐标系下,数据格式为ArcGIS默认的GIRD格式。

利用ENVI中MODIS-conversion-toolkit补丁对MODIS数据进行重投影处理,统一到WGS\_1984\_UTM\_Zone\_45N投影下,分辨率统一到500 m ×

500 m。并重采样为90 m × 90 m的空间分辨率(图3),方便与SRTM高程数据进行栅格代数运算获取积雪曲线。

**1.2.3 水文气象数据** 运用SRM模型进行融雪径流的模拟,流域内的气象水文资料是模型必要的变量。气象水文资料包括流域控制站的常规气象水文观测项目,日均气温、日降水和日均流量。文中气温、降水等数据来源于大西沟气象站、空冰斗水文站、1号冰川水文站以及总控水文站4个站点的逐日数据(表2)。流量数据运用总控站2008年5~8月份观测逐日流量,来检验模型模拟的流量情况。

我们随机选取大西沟站的气温与流量数据、总控站的降水与流量数据分析乌鲁木齐河源区日流量、气温、降水的相关性(图4)可以看出,从气温、降水、径流的相互关系看,日流量与降水决定系数 $R^2=0.225$ ,而日流量与气温决定系数 $R^2=0.542$ ,反

表2 水文、气象站点

Tab.2 Meteorological and hydrological stations

| 站点    | 经度          | 纬度         | 海拔高度 / m | 年均气温 / °C | 年降水量 / mm |
|-------|-------------|------------|----------|-----------|-----------|
| 大西沟站  | 86°50'32.3" | 43°6'47.5" | 3 539    | -4.3      | 538.9     |
| 空冰斗站  | 86°49'37.5" | 43°7'11.6" | 3 805    | -5.9      | 412.2     |
| 1号冰川站 | 86°49'16.8" | 43°6'51.9" | 3 659    | -5.5      | 492.5     |
| 总 控 站 | 86°52'5.3"  | 43°7'3.5"  | 3 408    | -4.6      | 384.0     |

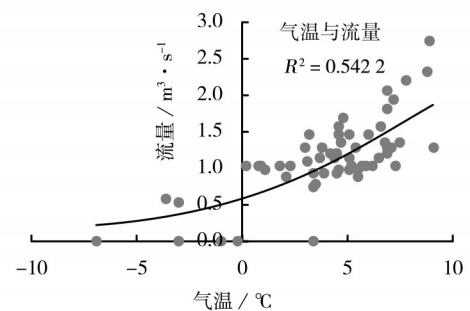
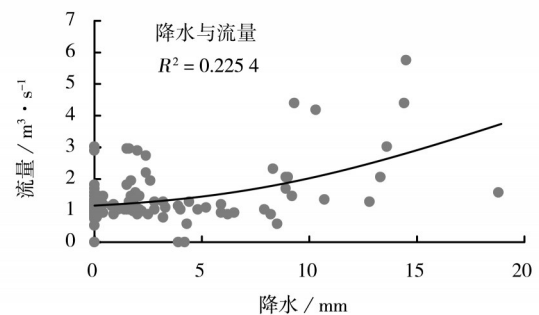


图4 气温、降水与流量关系

Fig.4 Temperature and precipitation with runoff



映出乌河源区气温对径流的绝对控制作用。而且气温、降水作为模型的基本变量,SRM模型本身对气温、降水非常敏感。所以直接将4个站点的气温、降水根据一定的梯度常数运算到各高程带上是不准确的,而利用分散的观测点数据进行空间插值展布已经成为获取高精度空间分布数字信息的主要方法之一<sup>[16]</sup>,针对该问题我们运用不同海拔梯度上的数据使用IDW(Inverse Distance Weighted)插值进行调整。并根据实测数据对气温、降水数据进行了修正,使得模拟指标Nash-Sutcliffe  $R^2$  和积差  $D_e$  值大大提高。

## 2 模型介绍与参变量确定

### 2.1 模型结构

模型的计算原理是根据每天的融雪和降水所产生的水量,将他们叠加到所计算的退水流量上,从而得到每天的径流量。SRM模型的计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$Q_{n+1} = [c_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) \cdot S_n + c_m \cdot P_n] \times \frac{A \times 10\,000}{86\,400} \times (1 - K_{n+1}) + Q_n K_{n+1}, \quad (2)$$

式中:  $Q$  为日平均流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $c_s$ 、 $c_r$  分别为融雪和降雪的径流系数;  $T$  为度日因子数( $^\circ\text{C}/\text{d}$ );  $\Delta T$  为根据温度直减率在不同高程进行温度插值后度日数的修正值( $^\circ\text{C}/\text{d}$ );  $a$  为度日因子( $\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ),表示单位度日因子的融雪深度;  $S$  为积雪覆盖面积和流域分带面积的比值,即积雪覆盖率;  $P$  为降雨径流深( $\text{cm}$ );  $A$  为流域或流域分带面积( $\text{km}^2$ );  $K$  为退水系数,表示在无融雪或无降雨期间径流衰退比例;  $n$  为流量计算时间段的日数序列;  $10\,000/86\,400$  为径流深到径流量的换算系数。

### 2.2 模型参变量的确定

**2.2.1 河源区SRM融雪径流模型参数** 模型初始时,根据乌鲁木齐河源区流域本身的特征,参数选取如表3。在模型调试过程中,则根据实际数据情况进行调整。

#### 2.2.2 模型变量

##### (1) 气温与度日数、温度直减率

在SRM模型中,气温是以度日数形式表现的。气温是积雪消融能量平衡过程中的一个比较合理的综合指标。为了计算日融雪水深,度日数采用气温的

观测值来进行计算,用下式来确定平均度日数<sup>[7]</sup>:

$$T = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2}, \quad (3)$$

式中:  $T$  为日平均气温,即平均度日数;  $T_{\min}$  和  $T_{\max}$  分别为逐日最低和最高气温。那么整个流域平均高程处的度日数调整为:

$$\Delta T = \gamma(h_{st} - h_p) \frac{1}{100}, \quad (4)$$

式中:  $\gamma$  是流域的温度直减率( $^\circ\text{C}/100\text{ m}$ );  $h_{st}$  是气象站的海拔高度,  $h_p$  是流域高程带的高程。

##### (2) 积雪衰退曲线

本文积雪衰退曲线的获得是通过MODIS10A2雪盖影像与分带的DEM数据进行复合,将MODIS10A2重采样成 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ 与雪盖影像进行栅格代数运算,计算各带内的雪盖百分比,然后根据融雪季节内不同高度带的积雪面积与积雪百分比,计算出不同高度带上的雪盖衰退系数,获取衰退曲线。

表3 乌鲁木齐河源区SRM融雪径流模型参数

Tab.3 Parameters of SRM for headwaters region of Urumqi River

| 模型参变量   | 取值                                                             | 模型参变量   | 取值     |
|---------|----------------------------------------------------------------|---------|--------|
| 度日因子    | $0.36\text{ cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ | 径流系数(雨) | 0.73   |
| 临界温度    | $2.5\text{ }^\circ\text{C}$                                    | 降水贡献面积  | 1      |
| 温度直减率   | $0.65\text{ }^\circ\text{C} \cdot 100\text{ m}^{-1}$           | X退水系数   | 1.1399 |
| 流域滞时    | 3·h                                                            | Y退水系数   | 0.0407 |
| 径流系数(雪) | 0.73                                                           |         |        |

### 2.2.3 模型参量

##### (1) 径流系数

径流系数是流域水量平衡的基本参数之一,是指同一地区同一时期内的径流深度与形成该时期径流的降水量之比,其值介于0与1之间。融雪和降雨径流系数一般可以根据流域的地理气候特点选取并且在模型模拟的最初阶段进行适当调整。根据以往康尔泗<sup>[14]</sup>等人在乌鲁木齐河山区流域径流形成的实验研究以及SRM模型的调整情况,乌河源区降雪、降雨的径流系数取值率定 $0.53 \sim 0.73$ 之间。

##### (2) 临界气温值

SRM模型通过温度临界值和降雨贡献面积的控制选项,来确定降水形式(降雪、降雨)和控制这部分降水在径流计算中的作用。很多流域采用

SRM模型的经验,在融雪季节开始时取临界气温为+3℃,在结束时取+0.75℃,使用时根据流域特点做调整<sup>[17]</sup>。我们对以往学者们研究采用的经验值进行调整,率定研究区临界气温值在0.75~2℃之间。

### (3) 度日因子 $a$

前人的研究采用两种方式获取度日因子,一是用雪枕、雪槽实地观测得到度日因子的实测值,二是用经验公式计算得到。由于在本研究区没有实测数据,我们采用SRM手册建议的经验公式获取度日因子<sup>[7]</sup>。

$$a = 1.1 \times \frac{\rho_s}{\rho_w}, \quad (5)$$

式中:  $\rho_s$  为积雪容重,  $\rho_w$  为水的容重。

此外,积雪消融季节,特别是有冰川覆盖的流域,冰川表层一般会覆盖有很厚的积雪,冰和雪的消融很难区分,将冰川区认为是积雪覆盖区的一部分,本研究中我们区分冰雪消融采用的是度日因子的取值。据乌鲁木齐河源区实地观测所得积雪密度数据,积雪密度在0.3 g/cm<sup>3</sup>左右,并参考张勇<sup>[18]</sup>等人对中国西部冰川度日因子的研究,本研究中将度日因子率定范围在0.27~0.36 cm·℃<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。

### (4) 降雨贡献面积、流域滞时

降雨贡献面积是根据融雪期不同阶段而设置的一个控制参数。在SRM模型中有选项来控制融雪期不同阶段的降雨贡献形式,使用时可以确定具体的日期以区分融雪期的不同阶段。

流域滞时定义为从积雪融化到融水到达水文站的时间。是反映流域出口径流相对补给水量的时间滞后效应的模型参数,决定补给水量的日分配比例,没有在表达式中出现。对于乌鲁木齐河源区,根据世界气象组织公布的结果<sup>[7]</sup>,采用3 h的滞时值。

### (5) 退水系数 $K$

退水系数是SRM模型的一个重要参数,指在没有融雪或降雨的时间段里径流下降值,它可以反映出每日融水能直接补给到径流量中的部分。退水系数定义为:  $K$  不是一个常数,它与流量的衰退具有如下关系:

$$K_{n+1} = Q_{n+1}/Q_n, \quad (6)$$

$$K_{n+1} = x \cdot Q_n^{-y}, \quad (7)$$

式中:  $K$  为退水系数,  $Q$  为日径流量,  $x$ 、 $y$  为根据

流量所确定的常数。

本文选取2008年5~8月融雪期实测的日径流量做散点图(图5),在介于1:1线和下廓线之间的中线上取(1.46、1.69)、(0.78、0.88)两个点对来确定  $x$ 、 $y$ ,则乌河源区退水系数的推导公式为:

$$K_{n+1} = 1.1399Q_n^{-0.0407}, \quad (8)$$

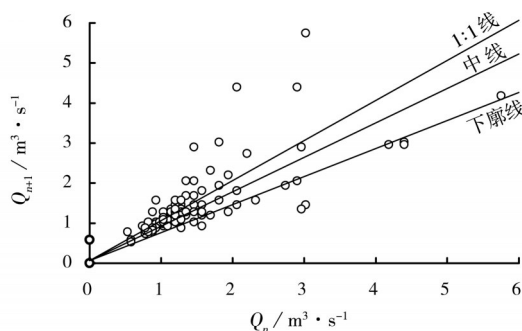


图5 乌鲁木齐河源区退水过程散点图

Fig.5 Recession flow plot for headwaters region of Urumqi river

## 3 模拟指标与精度分析

SRM模型除了生成直观的模拟流量与实测流量的过程图外,还采用了两个精度分析指标来评价模拟结果:无量纲的拟合优度确定系数 Nash-Sutcliffe 系数  $R^2$  和体积差  $D_v$ 。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_i')^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}, \quad (9)$$

$$D_v = \frac{V_R - V_{R'}}{V_R} \cdot 100, \quad (10)$$

式中:  $Q_i$  为实测的日径流量;  $Q_i'$  为模拟的日径流量;  $\bar{Q}$  为模拟得到的整个融雪期的平均径流量;  $n$  为模拟融雪期的天数。  $V_R$  为模拟期的实际径流体积,  $V_{R'}$  为相对应的模拟得到径流体积。

$R^2$  的数值范围是0到1,值越大表示模拟精度越高。  $D_v$  可以是任何数值,  $D_v$  绝对值越小表明模拟的结果越好。根据世界气象组织对主要融雪模型的评价结果,SRM在融雪季节模拟中,  $R^2$  平均值为0.84,  $D_v$  的平均值为3.8%。估算中国7条流域平均  $R^2 = 0.881$ ,  $D_v = 1.979\%$  <sup>[19-20]</sup>。从图6可以看出,利用SRM模型在乌鲁木齐河源区流域2008年5~8月份观测结果与模拟结果的对比,可清楚的看出SRM模

型能基本上模拟出5~8月份融雪期的流量。模型模拟乌河源区融雪径流所得  $R^2=0.702$ ,  $D_v=6.81\%$ , 满足融雪模型的要求, 表明SRM模型可在乌河源区推广应用。

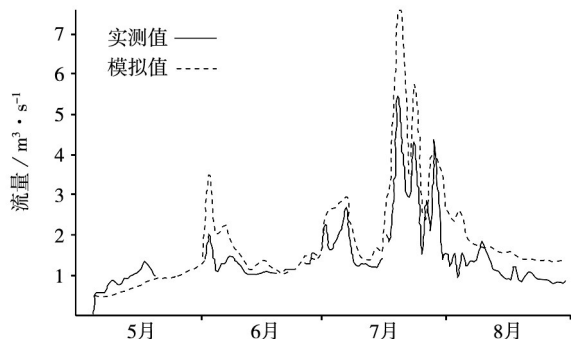


图6 2008年乌鲁木齐河源区融雪期实测与模拟径流值

Fig.6 Measured and simulated discharges for headwaters region of Urumqi River during the melting season in 2008

## 4 结 语

(1) 用SRM模型对乌鲁木齐河源区日径流量过程模拟结果较令人满意, 评价指标Nash-Sutcliffe系数  $R^2$  和积差  $D_v$  分别达到了0.702和6.81%, 均符合融雪模型的评价结果。这表明SRM模型可在乌鲁木齐河流域推广运用。这一研究作为对高山区的积雪模拟, 在缺少气温、降水等资料情况下, 填补了乌鲁木齐河流域融雪径流模拟的空白, 这必将对认识和利用乌鲁木齐河流域乃至整个新疆地区冰雪水资源具有重要意义。

(2) 从气温、降水、径流的相互关系来看, 日径流量与降水的决定系数  $R^2=0.225$ , 而日径流量与气温的决定系数  $R^2=0.542$ , 反映出乌鲁木齐河源区气温对径流的绝对控制作用。鉴于气温变化对以积雪和冰川融水补给为主的山区河流流量具有决定性作用, 加之气温、降水作为模型的基本变量, SRM模型本身对气温、降水非常敏感, 直接将站点的气温、降水数据根据一定的梯度常数运算到各高程带上是不精确的, 而利用分散的观测点数据进行空间插值展布已经成为获取高精度空间分布数字信息的主要方法之一, 尝试对乌河源区的气温、降水数据进行IDW插值, 并根据实测数据对气温、降水数据进行修正, 使得模拟指标精度值达到  $R^2=0.702$ ,  $D_v=6.81\%$ , 比直接运用梯度常数计算得到的

$R^2=0.698$ ,  $D_v=7.31\%$  有明显的提高, 对模型变量的输入精度问题上提供了新的思路。

(3) 本文的融雪计算还比较粗糙, 获取的逐日积雪曲线使用MODIS产品精度为500 m, 而本研究领域面积只有28.9 km<sup>2</sup>, 这造成积雪曲线存在一定的误差。采用其它遥感影像来准确提取积雪曲线是需要进一步研究的问题。

(4) 模型本身局限性。该模型并没有考虑融雪过程中雪水的下渗、截流、蒸散发等因素, 所得模拟径流比实测径流要略大一些。今后尚需从流域的水量平衡、产流、汇流特征以及出山径流等方面做进一步研究, 将会对模型本身的理解和深入挖掘提供参考依据。

## 参考文献(References)

- [1] MATINEC J, RANGO A. Application of a snowmelt-runoff model using Landsat Data[R]. Nordic Hydrology, 1979.
- [2] MATINEC J, RANGO A. Parameter values for snowmelt runoff modeling[J]. Journal of Hydrology, 1986, (84): 197-219.
- [3] TAHIR A, CHEVALLIER P, ARNAUD Y, et al. Modeling snowmelt-runoff under climate scenarios in the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan[J]. Journal of Hydrology, 2011, (409): 104-117.
- [4] MATINEC J, RANGO A. Revisiting the degree-day method for snowmelt computations[J]. Water Resoure Bulletin, 1995, (314): 657-669.
- [5] BRUBAKER K, RANGO A, KUSTAS W. Incorporating radiation in-puts into the snowmelt runoff model[J]. Hydrological Processes, 1996, (10): 1329-1343.
- [6] IMMERZEEL W W, BEEK L P H V, BIERKENS M F P, et al. Climate change will affect the asian water towers[J]. Science, 2010, (328): 1382-1385.
- [7] MATINEC J, RANGO A, ROBERTS R. The Snowmelt Runoff Model(SRM) user's manual(updated edition 1998, Version 4.0)[M]. Berne: University of Berne, 1998, 7-57.
- [8] 马虹, 程国栋. SRM融雪径流模型在西天山巩乃斯河流域的应用试验[J]. 科学通报, 2003, 48(19): 2088-2093. [MA Hong, CHENG Guodong. Snowmelt runoff simulation in Gongnaisi River Basin by the using of SRM[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(19): 2088-2093.]
- [9] 冯学智, 李文君, 史正涛, 等. 卫星雪盖监测与玛纳斯河融雪径流模拟[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(1): 18-21. [FENG Xue-zhi, LI Wenjun, Shi Zhengtao, et al. Satellite snowcover monitoring and snowmelt runoff simulation of Manas River in Tianshan Region[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2000, 15(1): 18-21.]



- [10] 王建, 马明国, FEDERICIS Paolo. 基于遥感与地理信息系统的SRM融雪径流模型在Alps山区流域的应用[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 436–441. [WANG Jian, MA Mingguo, FEDERICIS Paolo. Simulating snowmelt runoff using GIS and in mountainous watershed of Italy Remote Sensing Data[J]. Journal of Glaciology and Geocrylogy, 2001, 23(4): 436–441.]
- [11] 包安明, 陈晓娜, 李兰海. 融雪径流研究的理论与方法及其在干旱区的应用[J]. 干旱区地理, 2010, 33(5): 684–691. [BAO Anming, CHEN Xiaona, LI Lanhai. Theories and methods of snowmelt runoff and its application in arid regions[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(5): 684–691.]
- [12] 赵求东, 刘志辉, 房世峰, 等. 基于EOS/MODIS遥感数据改进式融雪模型[J]. 干旱区地理, 2007, 11(6): 915–920. [ZHAO Qiudong, LIU Zhihui, FANG Shifeng, et al. Improved snow-melt-model based on EOS / MODIS remote sensing data[J]. Arid Land Geography, 2007, 11(6): 915–920.]
- [13] 刘永强, 戴维, 刘志辉. 基于DEM的分布式融雪汇流模型关键算法和实现[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 143–149. [LIU Yongqiang, DAI Wei, LIU Zhihui. Key algorithm and its realization about distributed Snowmelt concentrating-flow model based on DEM[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(1): 143–149.]
- [14] 康尔泗, 施雅风, 杨大庆, 等. 乌鲁木齐河源山区流域径流形成的实验研究[J]. 第四纪研究, 1977, (6): 139–146. [KANG Ersi, SHI Yafeng, YANG Daqin, et al. An experimental study on runoff formation in the mountainous basin of the Uurimqi River[J]. Quaternary Sciences, 1977, (6): 139–146.]
- [15] TEKELI A, AKYUREK Z, SORMAN A, et al. Using MODIS snowcover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, (97): 216–230.
- [16] 王舒, 严登华, 秦天玲, 等. 基于PER-Kriging插值方法的降水空间展布[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 756–763. [WANG Shu, YAN Denghua, QIN Tianling, et al. Spatial interpolation of precipitation using the PER-Kriging method [J]. Advances In Water Science, 2011, 22(6): 756–763.]
- [17] 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: 87–94. [KANG Ersi, CHENG Guodong, DONG Zengchuan. Glacier-snow water resources and mountain runoff in the arid area of northwest China [M]. Beijing: Science Press, 2002: 87–94.]
- [18] 张勇, 刘时银, 丁永建. 中国西部冰川度日因子的空间变化特征[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 89–98. [ZHANG Yong, LIU Shi-yin, DING Yongjian. Observed degree-day factors and their spatial variation on glaciers in western China [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(1): 89–98.]
- [19] 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, 30(5): 769–775. [LI Hongyi, WANG Jian. The Snowmelt Runoff Model applied in the upper Heihe River Basin [J]. Journal of Glaciology and Geocrylogy, 2008, 30(5): 769–775.]
- [20] 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 Junfeng, YANG Jianping, CHEN Rensheng, 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.]

## Snowmelt runoff model applied in the headwaters region of Urumqi River

HUAI Bao-juan<sup>1</sup>, LI Zhong-qin<sup>1,2</sup>, SUN Mei-ping<sup>1</sup>, XIAO Yan<sup>3</sup>

(1 College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2 State Key Laboratory of Cryospheric Sciences / Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3 College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong, China)

**Abstract:** There are seven glaciers and large-scale snow above the Zongkong hydrological station of Urumqi River, and the snowmelt runoff in Urumqi River contribute significantly in the glacier ice and snow melting period. It is therefore essential to simulate the snow-melt runoff of Urumqi River, and also meaningful for the utilization of the snow water resources in the whole basin or even in Xinjiang province. In this paper, the SRM was applied to simulate snowmelt runoff in the headwaters region of Urumqi River. It is currently based on a simple degree day method. The daily precipitation, air temperature and snow cover area are the input data. In addition to the input variables, a number of basin characteristics such as basin area, zone area and the area elevation curve are also needed. The Digital Elevation Model are used to divide different zones of the basin, and MOD10A2 data are used for the accumulation of

snow. Besides, the meteorological and hydrology data observed from May to August in 2008 are also used for this model. The region is divided to three zones and we get the curves of snow coverage shrinking derived from the MOD10A2 snow products, and the recession coefficients are also calculated in detail. According to the simulation, a final simulation scheme is selected as the final decision. The simulation fit indexes of Nash-Sutcliffe coefficient ( $R^2$ ) is 0.702 and the volume difference ( $D_v$ ) is 6.81% which are fitted to the accuracy of snow melt model, and it also indicates that the SRM model can be applied in the whole Urumqi River. In addition, this application suggests that Urumqi River will be necessary for snow-melt runoff to meet with the needs of irrigation supply and water supply. This is particularly important for utilization of Urumqi River water resources. Meanwhile, the research also shows that: (1) This study concludes that the snowmelt runoff model based on a degree day factor can efficiently simulate the daily discharge in the snow and glacier-fed catchments of the headwaters region of Urumqi River. Parameters which are sensitive to the results are degree day factor, recession coefficient  $K$ , the critical temperature value. (2) Air temperature and precipitation as the direct drive variables are more sensitive to the model. As the temperature and precipitation are not strictly comply with the temperature and precipitation gradient in headwaters region of Urumqi River, the IDW interpolation was used to solve this problem, thus, it provides a new train thought for the precision of the SRM model. (3) The degree day factor is not stable in different height belt while the degree day factor selection and adjustment is also very important to the simulation. While the snow density is closely related to the degree day factor, actual measurement snow density data are needed to measure in all the height belt. (4) SRM don't take the infiltration, interception and evapotranspiration into account, so the simulation runoff is less than the measured runoff. Meantime, the study area in this paper is 28.9 km<sup>2</sup>; consider the resolution of MOD10A2 is 500 m × 500 m, there is a certain error in the curves of snow coverage shrinking. There are some shortcomings in this research; we intend to do better in the future research.

**Key Words:** Snowmelt-Runoff Model; snowmelt runoff; MODIS; IDW; Headwaters region of Urumqi River

## 生态系统监测与管理国际学术研讨会在香港召开

2012年12月20日至24日,由中国科学院新疆生态与地理研究所和香港浸会大学联合举办的“生态系统监测与管理国际学术研讨会”在香港召开,来自中国、美国、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦以及香港地区的近60人参加了会议。

新疆生地所陈曦所长和香港浸会大学 Albert Chan 校长分别在开幕式上代表会议主办单位致辞,中科院生态环境研究中心傅伯杰院士和美国加州大学李百炼教授出席会议并做大会特邀报告。

与会代表围绕生态系统长期监测的新技术和方法、基于生态系统监测、模拟和管理的云计算、生态系统对人类活动的响应、生态系统过程与计算模拟、全球变化与区域生态系统响应等内容进行了交流。

会议专门设立中亚分会,重点讨论中亚生态系统的管理和研究网络的建设问题,最后与会方中国、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦相关研究所的10个所长达成共识,签署了“关于联合开展亚洲中部干旱区应对气候变化的生态系统监测与管理研究备忘录”,倡导成立“亚洲中部干旱区生态系统监测与管理国际协会”,计划今后5年联合开展该区域生态系统的监测与管理研究,提出该区域应对气候变化的综合评估与研究报告、以及应对气候变化的方法与对策,为区域可持续发展提供支撑。