

分布式水文模型 EasyDHM 在玛纳斯河流域径流模拟中的应用

邢坤¹, 雷晓云¹, 雷晓辉², 靳晟¹

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘 要: 玛纳斯河流域作为新疆干旱区典型的内陆河流域, 其年径流量主要来源于高山区融雪径流。掌握该流域的径流变化规律, 对探讨该地区气候、水文及水资源、生态环境之间的联系以及预测未来山区径流的变化规律具有重要意义。以玛纳斯河流域作为研究对象, 基于分布式水文模型 EasyDHM (Easy Distributed Hydrological Model), 利用 DEM、实测河网、土壤、土地利用及水文气象数据构建玛纳斯河流域分布式水文模型研究该流域径流过程。通过模型参数率定及验证发现, 该模型精度较高, 验证期内各站点纳什效率系数均在 0.75 以上, 说明 EasyDHM 分布式水文模型的泛化能力较好, 可应用于该流域的水雨情势分析, 为预防和减轻春季融雪型洪水灾害提供了理论依据。

关键词: 分布式水文模型; 玛纳斯河流域; EasyDHM; 径流模拟; 融雪

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0020-04

Application of distributed hydrological model EasyDHM in runoff simulation of Manasi river basin

XING Kun¹, LEI Xiaoyun¹, LEI Xiaohui², JIN Sheng¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Department of Water Research, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: As a typical continental river basin of arid areas in Xinjiang, the annual runoff of Manasi river basin mainly comes from the snowmelt runoff in high mountains in the river basin. To know the change rule of runoff in the basin has great significance for probing the relation between atmosphere, hydrology, water resources and ecological environment, and predicting the variation law of runoff. Based on distributed hydrological model EasyDHM (Easy Distributed Hydrological Model), taking Manasi river basin as research objective, the paper used the DEM, river, soil, land use, hydrological and meteorological data to construct Manasi river basin distributed hydrological model to study the runoff process. According to the model test, the accuracy of EasyDHM is higher, the Nash efficiency coefficients of all the stations are above 0.75 during site validation period. It is proved that EasyDHM has good generation capacity and can be applied in analysis of rain situation, and also provide theory for forecasting and relieving the harm of snow-melt flood in spring.

Key words: distributed hydrology model; Manasi river basin; EasyDHM; runoff simulation; snow melt

1 流域概况

玛纳斯河流域(以下简称玛河流域)位于新疆准噶尔盆地南缘,发源于天山北坡,位于 $43^{\circ}20' \sim 45^{\circ}55'N$, $85^{\circ}00' \sim 87^{\circ}00'E$,全长 $325m^{[1]}$ 。该流域是北天山现代冰川分布最集中的山段,全年 22.95 亿

m^3 的径流量中,冰雪融水补给约占年径流量的 46%^[2]。玛河流域山地垂直地带性明显,自高山区海拔逐渐下降,中山区和前山区汇集了多条支流,由肯斯瓦特水文站流出山区进入山前平原。该流域高山区终年积雪覆盖,水资源补给以高山融雪径流、高山降雨、降雨径流多种方式并存^[3]。冰川和降水较

收稿日期:2014-03-25; 修回日期:2014-04-16

基金项目:国家自然科学基金项目(U1178301)

作者简介:邢坤(1988-),女,新疆乌鲁木齐人,博士研究生,主要从事水文水资源方面的研究。

通讯作者:雷晓云(1961-),女,湖南常宁人,教授,博士生导师,主要从事水资源高效利用理论技术教学与研究工作。

多的山区为水资源形成区,山前平原盆地为水资源耗散区,出山口径流量基本代表玛河流域的水资源总量^[4]。

玛河流域水资源对该地区径流调节起着非常重要的作用,是该地区工农业生产发展的主要命脉^[5]。本文针对这种以冰雪融水与降水混合补给的山区流域,根据其特殊的空间地形分布,其降水、积雪分布及产汇流过程的不均匀性,建立适合该地区产汇流模式的分布式水文模型。本文基于中国水利水电科学研究院研发的 EasyDHM^[6] 分布式水文模型对玛河流域作径流模拟,获取影响径流的水文要素,作为玛河流域洪水预报、水资源调配的理论依据,同时也为新疆内陆河流域建立分布式水文模型奠定基础。

2 分布式水文模型建模

玛河流域分布式水文模型构建过程包括以下五方面:①水文、GIS (Geographic Information System)、气象资料收集与整理;②子流域的划分与流域信息参数的提取;③气象数据空间展布;④模型计算与参数率定;⑤模型应用。

2.1 建模过程

本流域包含清水河子、煤窑、肯斯瓦特和红山咀 4 个水文站、雨量站,所有站点数据选自 1980 - 1989 年《额尔齐斯河流域新疆天山以北地区内陆河年鉴》(缺少 1981、1985、1987 年资料),选择单元格子数边长为 1000m 的 DEM (Digital Elevation Model) 数字高程数据。玛河流域水文气象站点分布如图 1 所示。由图 1 可知,玛河流域高程由南向北逐渐递减,最大高程为 4851m,最小为 513m。

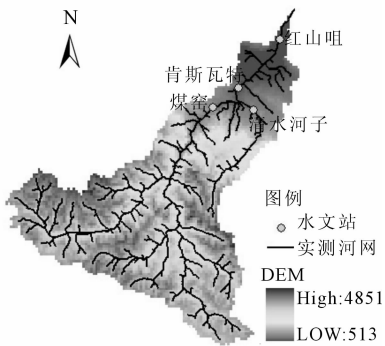


图 1 玛纳斯河流域 DEM 及水文气象站点分布图

建模过程是把整个流域划分成独立的单元来计算,最终汇总计算结果。流域划分主要包括 DEM 数字高程修正,流向计算,累积数计算,河网提取,子流

域划分,参数分区划分,产汇流参数计算等步骤。正确提取数字河网是能否准确模拟径流的第一步。为使生成的数字河网与实测河网尽量一致,需要应用 GIS 对实测河网进行删剪、梳理、延伸等处理。玛河流域提取的数字河网如图 2 所示。由图 2 可知,该流域数字河网与实测河网达到了很好的吻合,说明生成的数字河网是可靠的。

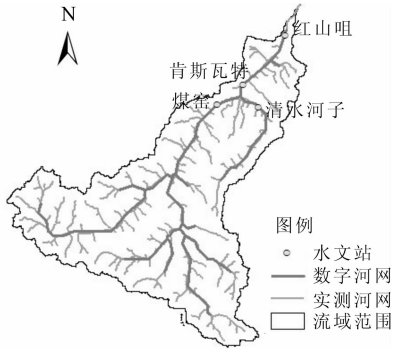


图 2 玛纳斯河流域数字河网图

在提取数字河网后,需要对流域特征参数作进一步提取,包括河网编码,子流域加密,等高带划分、参数分区的划分和子流域属性统计。EasyDHM 分布式水文模型为了体现模型参数在空间上的变异性,采用参数分区拓扑式率定方法。将下游平原红山咀站作为出口点,确定每个水文站的控制范围,进而划分出参数分区和子流域。根据 4 个水文站将玛河流域划分成 4 个参数分区。在生成的数字河网的基础上,采用自主开发的通用复杂流域、区域子流域划分算法^[7]对玛纳斯河流域进行子流域划分,规定最小水道集水面积阈值为 100 km²,将整个流域划分为 12 个子流域,如图 3 所示。

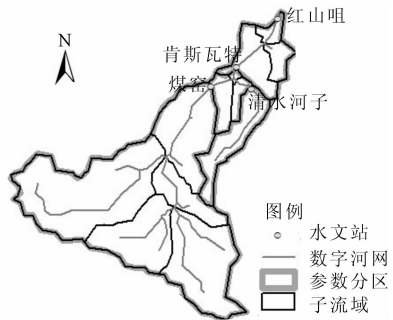


图 3 玛纳斯河流域子流域划分图

气象数据的空间展布综合采用相关距离反比法^[8]和泰森多边形法,将站点的降雨、气温、风速、湿度等气象信息展布到子流域的形心上,分别进行时间和空间的统计工作。气象数据来源于该流域附

近的石河子气象站的观测资料,包括平均气温、最高气温、最低气温、降水、日照时数、风速、相对湿度等信息。

2.2 模型参数率定

模型参数的敏感性分析和参数率定:采用 LH - OAT 参数抽样方法对模型的参数进行敏感性分析^[9],得出模型参数的敏感等级,再针对模型的敏

感参数进行特性分析,利用 SCE - UA 参数自动率定法^[10],对敏感参数进行参数率定。

本文主要以下游肯斯瓦特站为例说明模型参数率定的结果,率定数据为 1980 - 1986 年(1981、1985 年数据缺失)逐日流量数据。表 1 列举了肯斯瓦特站较敏感参数的敏感度排序以及该参数率定前后的取值。

表 1 肯斯瓦特站参数率定表

参数	物理意义	参数上限值	参数下限值	默认参数值	最优参数值	敏感度排序
solfm	土壤冻融系数	0	1	0.1	0.01	1
TIMP	积雪滞后系数	0.5	1.5	1	0.80	2
CH_N2M	子流域曼宁糙率系数	0.1	500	1	1.21	3
Sol_crkM	土壤空隙修正系数	0.5	1.5	1	1.34	4
DepressM	地表填洼能力系数	0.5	3	1	0.94	5
petm	潜在蒸发系数	0.05	0.6	1	0.45	6
CH_K2M	子流域河底导水系数	0.1	10	0.5	2.59	7
UnitSlopeM	计算单元坡度系数	0.1	10	1	2.77	8
Sno50cov	50% 覆盖积雪当量	0.5	1.5	0.5	1.21	9
ItcmaxM	最大冠层截留系数	0.5	3	1	0.86	10
tdrain	土壤水下渗持续时间	10	40	24	38.16	11
solf	土壤层深度比例	0	1	0.1	0.20	12

由表 1 可知,从总体径流过程来看,积、融雪参数起到了决定性作用,这与玛河流域高山区积雪覆盖,径流主要靠融雪水补给的实情相符合;土壤相关参数的敏感度很高,说明土壤质地对该流域的产流过程影响很大;该站点地表汇流参数敏感度要高于土壤产流参数的敏感度,说明该地区在径流模拟中地表径流变化对总径流的影响较大;该站点河道形状参数敏感度排位靠前,说明河道形状对整个汇流过程有一定影响;从产汇流参数分析来看,汇流参数敏感度高于产流参数,说明汇流参数在本次模拟中起关键作用。肯斯瓦特站参数率定前后径流模拟效果对比分别见图 4、5。

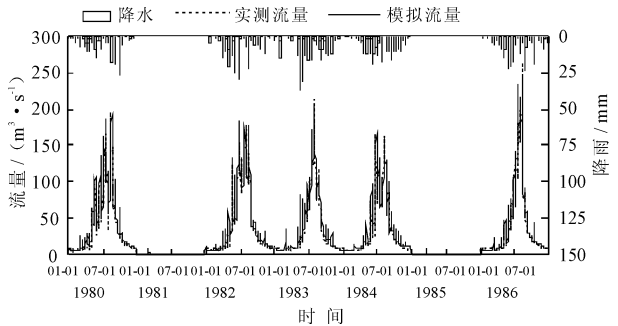


图 4 肯斯瓦特站参数率定前径流模拟效果图

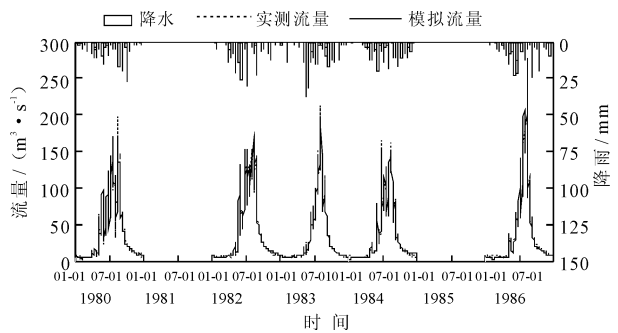


图 5 肯斯瓦特站参数率定后径流模拟效果图

由模拟结果计算可知,肯斯瓦特站纳什效率系数为 0.90,相关系数为 0.95,相对误差为 1.05%,可见该站点模拟效果较好。为了说明分布式水文模型 EasyDHM 在玛河流域整体得到较好的应用,本文对玛河流域的 4 个水文站分别进行径流模拟,上游清水河子站经过参数率定后径流模拟结果如图 6 所示。

经比较,玛河流域其他参数分区的纳什效率系数均在 0.80 以上,各参数分区相关系数在 0.75 以上,且相对误差在 10% 以内,由此说明玛河流域 EasyDHM 分布式水文模型径流模拟效果比较理想。

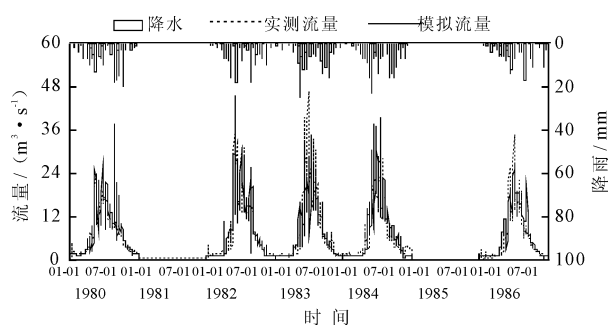


图6 清水河子站参数率定后径流模拟效果图

2.3 模型验证

本文基于 EasyDHM 分布式水文模型,用 5 a 的实测数据率定出一套适合该流域径流模拟的参数,为了验证其可靠性,选用该套参数模拟 1988、1989 年肯斯瓦特站的径流量,再由这 2 a 实测数据对比可知,肯斯瓦特站纳什效率为 0.85,相关系数为 0.92,相对误差为 1.91%。模型验证结果如图 7 所示。

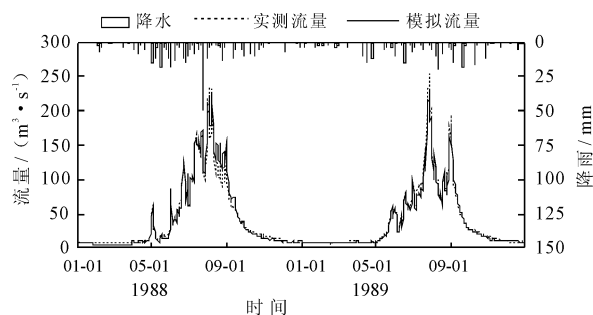


图7 肯斯瓦特站验证期径流模拟效果图

从玛河流域其他站点验证结果可知,验证期内各站点纳什效率系数均在 0.75 以上,相关系数均在 0.85 以上,相对误差均在 10% 之内,再次说明 EasyDHM 分布式水文模型的泛化能力较好,在玛河流域径流模拟中得到很好应用。

3 结 语

根据玛河流域地理、水文及气象特点,通过 DEM 修正、数字河网生成、子流域划分、参数分区划分以及气象数据的空间展布等过程,建立了玛河流域 EasyDHM 分布式水文模型,完成了模型参数率定及验证工作。由模型可知,玛河流域径流模拟模型中融雪参数敏感性较高,说明该流域的径流补给主

要依靠高山冰川及积雪消融,这充分说明夏汛河流的特点。玛河流域土壤质地主要以沙壤土为主,对玛河流域产、汇流过程起到一定影响,地表径流在整个径流过程中占主导地位。同时,玛河流域河道形状参数敏感度较高,说明河道形状变化对该流域汇流过程起重要作用。

经比较,各水文站点模拟效果较为理想,说明 EasyDHM 分布式水文模型在玛河流域这种高山区内陆河具有良好的适用性,不仅能够应用于该地区的水雨情分析,水资源规划等实际问题,同时也为新疆整体内陆河流域径流模拟奠定了基础。需要说明的是列举的肯斯瓦特站是该流域的下游站点,模拟过程运用上游站点实测数据,而上游站点径流模拟主要依靠客观公式计算,不能十分准确的针对该流域实际特点进行模拟,利用遥感技术提取雪盖参数从而优化模型模拟效果将作为下一步研究重点。

参考文献:

- [1] 李慧,靳晟,雷晓云,等. SWAT 模型参数敏感性分析与自动率定的重要性研究——以玛纳斯河径流模拟为例[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(1):79-82.
- [2] 李志忠,韩洪凌. 天山北麓的水资源利用与绿洲稳定性——以玛纳斯河流域为例[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(8):139-142.
- [3] 李慧,雷晓云,包安明,等. 基于 SWAT 模型的山区日径流模拟在玛纳斯河流域的应用[J]. 干旱区研究,2010,27(5):686-690.
- [4] 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.
- [5] 陈仁升,康尔泗,杨建平,等. 水文模型研究综述[J]. 中国沙漠,2003,23(3):221-229.
- [6] 雷晓辉,廖卫红,蒋云钟,等. 分布式水文模型 EasyDHM 模型[J]. 水利信息化,2010,(2):31-37. (无卷号)
- [7] Xiaohui Lei, Yu Tian, Yunzhong Jiang, et al. General Catchment Delineation Method and its Application into the Middle Route Project of China's South-to-North Water Diversion[J]. The HKIE Transactions, 2010, 17(2):27-33.
- [8] 穆振侠,姜卉芳,刘丰,等. 天山西部山区降雨量空间分布的研究[J]. 新疆农业大学学报,2007,30(1):75-77.
- [9] 徐会军,陈洋波,李昼阳,等. 基于 LH-OAT 分布式水文模型参数敏感性分析[J]. 人民长江,2012,43(7):19-23.
- [10] 徐会军,陈洋波,曾碧球,等. SCE-UA 算法在流溪河模型参数优选中的应用[J]. 热带地理,2012,32(1):32-37.