

基于 MODIS 的水文特征指标提取与应用研究

何虹¹, 夏达忠², 甘郝新¹

(1. 水利部珠江水利委员会综合技术中心, 广州 深圳 510610;

2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 流域水文模拟的效果很大程度上取决于输入数据, 然而往往由于缺乏足够的、合适的数据导致不能很好地描述水文过程。遥感信息可以较准确地确定土地利用、覆被情况并提取相关水文特征指标, 根据模型参数的物理意义直接或辅助确定有关参数, 有助于减小参数率定的不确定性及水文模型在无或少资料地区的推广应用。研究采用 MODIS 遥感数据和量化的遥感技术, 针对土地利用分类体系的确立和水文特征指标的提取对流域水文模拟的影响进行研究, 为最终的数字流域水文模型研制建立理论基础, 并探寻可行的技术方案。

关键词: MODIS; 土地利用分类体系; 水文特征指标; 新安江模型; 模型参数确定

中图分类号: TP75; P33

文献标识码: A

文章编号: 1674-9405(2011)04-0004-05

0 引言

流域洪水预报是防洪减灾中一项重要的非工程措施, 直接为防洪调度、防汛抢险等服务, 为防灾减灾决策的制定提供科学依据。由于流域水文循环是多种要素相互作用、影响的复杂过程, 在当前的技术水平条件下严格的水文循环规律还难以完全掌握, 因此需要通过建立水文模型近似地模拟实际的流域水文循环过程^[1-3]。

对于应用模型进行水文模拟的流域而言, 下垫面因子和影响流域降雨径流形成的气象因子在空间上的分布都是不均匀的, 用于流域水文模拟的任何计算方法或模型, 其自身都不可能产生出信息来, 只能从数据中提取信息, 而数据的获取处理, 准确和可靠性等问题一直是困扰模型推广应用的重要因素^[4]。20世纪90年代以来, 流域水文模拟的研究方法产生了根本性的改变, 其中1个趋势就是遥感技术与水文模型的结合应用。土地利用、覆被是流域水文模拟的重要信息, 此类信息不仅可以直接确定某些水文模型参数, 而且显著影响了有关水文特征指标的提取效果。因此, 合理、准确的土地利用分类体系可以直接或辅助确定水文模型参数。由于应

用目的和领域的不同, 目前尚未形成全球性、通用的土地利用分类体系。

应用 MODIS 遥感数据和量化的遥感技术, 以西江流域为研究区域, 确立以流域水文模拟为研究目的和应用需要的土地利用分类体系, 并在此基础上提取水文特征指标(流域不透水面积、叶面积指数和地表蒸散发), 进而直接或辅助确定水文模型中的相关参数, 使得模型参数的物理意义更加明确取值范围更加合理, 模型参数率定的难度和不确定性减小, 流域水文模型的可靠性提高, 为无资料地区的参数率定提供有效的技术手段。

1 土地利用分类体系

土地利用、覆被是遥感应用中比较成熟的领域, 以往的研究通常侧重于从国土资源利用, 地面地物调查和变化监测的角度对土地利用类型进行划分, 很少从水文模型应用、流域水文模拟的角度分类。

以美国地质调查局和我国国土资源部的土地分类体系的研究为基础: 前者是美国地质调查局(USGS)于1976年基于 Landsat 遥感影像制定的

收稿日期: 2010-11-20

作者简介: 何虹(1983-), 女, 安徽蚌埠人, 助理工程师, 主要从事水利信息化研究与管理工作。

土地分类系统，前2级比较适合于中、低空间分辨率的卫星遥感影像，后2级适合于高空间分辨率航空遥感或卫星遥感影像，此分类系统将土地利用类型分为城市或城区、农业、草地、森林地、水面、湿地、荒漠、苔原和永久性冰面覆盖9个1级类别，各个类别下又逐次细化；后者是国土资源部于2002年正式颁布的全国土地利用分类体系，在全国各个领域试行，该分类体系将土地利用和覆被类型分为3个1级地类、15个2级地类、71个3级地类。

利用 MODIS 数据作为研究区域土地利用、覆被分类的遥感资料，经过预处理后的 MODIS 影像的空间分辨率为 250 m，受到空间分辨率的限制，地物的可解译性有限；同时，以适用于流域水文模拟为主要目的，从模型应用和角度对部分 2 级地类进行有效的综合。因此，同时参照上述 2 种土地利用分类体系的 1 级和 2 级地类，最终将西江流域土地利用和覆被类型分为水体、森林、疏林灌木、裸地、耕地、草地 6 类。

融合多种信息的特征集是构建决策树自动分类模型的基础，建立遥感影像解译参考标准并选取各类地物训练样区和样本，根据决策树分类流程，采用分类回归树（Classification and Regression Tree-CART）的决策树算法，建立土地利用、覆被的决策树自动分类模型，从水文模型模拟的角度对研究区域进行土地利用分类，为后续水文特征指标的提取提供准确、合理的土地利用和覆被信息，并以此作为研究的基础。

2 水文特征指标提取

基于已经确立的西江流域土地利用分类体系和分类结果，以预处理后的 MODIS 遥感数据为基础，通过确定地表、植被、蒸散发等参数，提取影响水量平衡和水文过程的水文特征指标，利用这些特征指标可以在模拟中简化模型的参数，明确参数的物理意义，减小参数率定的难度和不确定性。

2.1 不透水面积 IMP 的提取

当流域经历一场降雨时，根据降雨强度和历时，流域的透水面上将先后产生地面、壤中和地下径流，而流域的不透水面积上只产生地面径流，因此需要在流域透水和不透水面积上采用不同的径流计算方法进行流域产流计算。

采用空间分辨率为 250 m 的 MODIS L1B 数据作为提取流域不透水面积比 IMP 的遥感资料，其空间分辨率较先前学者所采用的 1 km 遥感影像数据大大提高。根据不透水面积比 IMP 的物理含义，建立各个子流域 IMP 的计算公式：

$$IMP = \frac{A_w + A_B}{A} \quad (1)$$

式中： A_w 为子流域内的水体面积； A_B 为子流域内的裸地面积； A 为子流域的总面积。

2.2 叶面积指数 LAI 的提取

目前，通过遥感资料提取叶面积指数 LAI，再通过相关关系反演流域平均腐殖质厚度 $L_{腐}$ ^[5-6]，进而确定相应的水文模型参数，已经成为流域水文模拟可行的技术手段。

国内学者根据 NDVI 反演 LAI 所采用的参数^[6-7]均引自参考文献，并不是研究区域地面状况的真实反映。现对参数确定方法进行改进，采用提供上述参数的 MODIS 产品数据 MOD13A 和 MOD15A，通过统计分析确定 SiB2^[8] 模型参数。运用 SiB2 的方法，利用 MODIS 产品数据反演西江流域各个月份的叶面积指数值，然后对全年 12 个月份的 LAI 进行平均，以便综合反映研究区域的叶面积指数分布情况。

2.3 蒸散发 ET 的提取

蒸散发是水量平衡的重要组成部分，作为流域水文模型的重要输入而成为流域水文模型的关键环节。

蒸散发与土地利用、覆被类型紧密联系，对蒸散发进行准确计算所需的相关参数的确定，直接与研究区域的土地利用分类体系相关，以 MODIS 遥感数据为基础，首先对参与估算蒸散发的相关参数(植被覆盖度、地表温度、地表反照率、冠层反照率、最小气孔阻抗、粗糙高度、植被高度、零平面位移、最大叶面宽度等)进行反演，然后采用地表能量平衡算法（SEBAL）^[9]模型估算研究区域的日蒸散发，通过时间尺度转换即采用积分关系法进行瞬时蒸散发至日蒸散发的扩展，最后将日蒸散发及一些相关的气象数据通过时间尺度扩展可得月蒸散发。

3 流域水文模拟

采用新安江模型，通过水文特征指标直接或经由物理公式间接确定部分模型参数，并选取若干小

流域进行水文模拟，以研究此方法的适用和可靠性。

3.1 研究区概况

西江为珠江流域的第1大水系，干流自西向东流经云南、贵州、广西、广东4省（自治区），由南盘江、洪水河、黔江、浔江及西江等河段所组成，全长2 075 km，河道平均坡降0.58‰。流域面积353 120 km²，占珠江流域总面积的77.83%。西江流域幅地辽阔，地势西北高东南低，具有高原、盆地、丘陵、平原等多种地形。年降雨量1 343.0~2 331.1 mm，分布明显呈由东向西逐步减少，年内分配不均，地区分布差异和年际变化较大。洪水特性差异较大、时空分布较复杂；每年4~9月为汛期，枯水期一般为10月~次年3月。西江水情具有峰高量大、来势猛、高水持续时间长的特点。

3.2 水文特征指标与新安江模型参数

1) 不透水面积与产流参数IMP。不透水面积与新安江模型产流参数具有相同的定义，即为不透水面积占整个小流域总面积的百分比。因此，西江流域各小流域的IMP值如表1所示，无论是日模型还是次洪模型均无需率定。

表1 西江流域各小流域的IMP值

流域名	IMP
桂江桂林以上流域	0.036 3
蒙江流域	0.008 5
北流河流域	0.018 1
罗定江流域	0.009 9
新兴江流域	0.020 1
迁武区间	0.032 2
柳武区间	0.023 5
贵港入干	0.061 8
武江区间	0.070 7
桂平区间	0.015 1
平昭区间	0.034 3
昭京区间	0.017 6
京南入干	0.053 7
江梧区间	0.046 2
古封区间	0.021 5
梧德区间	0.047 8
德高区间	0.081 6
高马区间	0.155 3

2) 叶面积指数与水源划分参数。根据研究得出，叶面积指数LAI与土壤腐殖质土层的厚度 $L_{腐}$ 具有很好的幂指数模型拟合关系，相关公式如下：

$$\begin{cases} SM = (\theta_s - \theta_f)L_{腐} \\ L_{腐} = 0.176 LAI^{0.721} \end{cases} \quad (2)$$

式中：SM是自由水蓄水容量； θ_s 是饱和持水量； θ_f 是田间持水量， θ_s 和 θ_f 来自土壤的物理特性； $L_{腐}$ 一般在0~0.3 m之间。

根据水文特征指标LAI确定 $L_{腐}$ ，进而通过式(2)求得各小流域SM值如表2所示，作为模型参数SM的输入，无需率定确定。

表2 各小流域SM

流域名	LAI	$L_{腐}/m$	$(\theta_s - \theta_f) \times 1000$	计算 SM/mm	确定 SM/mm
桂江桂林以上流域	1.505	0.236	99.32	23.47	23
蒙江流域	1.671	0.255	85.54	16.41	16
北流河流域	1.894	0.280	110.89	31.75	32
罗定江流域	1.289	0.211	96.86	20.47	20
新兴江流域	1.757	0.264	109.61	20.08	20
迁武区间	0.952	0.170	106.97	18.17	18
柳武区间	1.280	0.210	108.88	22.90	23
贵港入干	1.054	0.183	120.04	21.94	22
武江区间	1.317	0.215	94.17	20.21	20
桂平区间	1.122	0.191	109.56	20.95	21
平昭区间	1.414	0.226	85.09	19.22	19
昭京区间	1.805	0.269	96.52	26.00	26
京南入干	1.915	0.281	107.70	30.28	30
江梧区间	1.021	0.179	106.89	19.10	19
古封区间	1.813	0.270	102.59	27.73	28
梧德区间	1.721	0.260	104.71	27.26	27
德高区间	1.736	0.262	116.28	30.46	30
高马区间	1.669	0.255	113.22	28.83	29

3) 蒸散发。通过遥感反演研究区域的蒸散发，是面上而不是单点的观测数据，因此更能全面地反映流域蒸散发的时空分布差异。假定遥感反演的蒸散发为研究区域的标准蒸散发，输入模型进行水文模拟。

3.3 小流域水文模拟

选取西江流域中的若干典型小流域，将上述方法确定的部分模型参数（IMP，SM）和流域蒸散发值直接代入模型，进行了小流域的水文模拟，西

江流域各小流域新安江模型的参数如表 3 所示。2002 年西江流域各小流域日模型模拟结果如表 4 所示，2002 年西江流域各小流域次洪模型模拟结果如表 5 所示。

表 3 西江流域各小流域新安江模型参数

模型参数	太平	金鸡	桂林	官良
K	1.28	0.65	1.00	0.70
WM	140	120	130	120
WUM	30	25	20	30
WLM	60	60	60	60
B	0.20	0.20	0.20	0.20
C	0.18	0.14	0.16	0.16
IMP	0.01	0.018	0.036	0.01
SM	16.0	32.0	23.0	20.0
EX	1.5	1.5	1.5	1.5
KG	0.30	0.30	0.30	0.50
KI	0.40	0.40	0.40	0.20
KE	1	1	1	1
XE	0.47	0.42	0.41	0.32
CG	0.995	0.995	0.995	0.995
CI	0.95	0.83	0.95	0.95
CS	0.12	0.18	0.30	0.18
LAG	1	2	1	1

表 4 2002 年西江流域各小流域日模型模拟结果

站名	年降水量/mm	年蒸发量/mm	实测径流深/mm	计算径流深/mm	径流深相对误差/%	径流系数	确定性系数
太平	2 361	1 178	1 129	1 133	0.35	0.48	0.83
金鸡	1 862	642	1 144	1 055	-7.78	0.61	0.86
桂林	3 165	1 024	1 804	2 008	11.31	0.57	0.85
官良	1 734	568	983	1 008	2.54	0.57	0.72

表 5 2002 年西江流域各小流域次洪模型模拟结果

站名	洪号	实测径流深/mm	计算径流深/mm	径流深相对误差/%	实测洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)	计算洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)	洪峰相对误差/%	峰现时差/h	确定性系数
太平	20020630	251	251	0.00	6 540	5 660	-13.46	+1	0.91
金鸡	20020803	203	215	5.91	2 320	2 810	21.12	-2	0.60
桂林	20020503	341	380	11.44	2 080	2 190	5.29	+2	0.84
官良	20020912	269	264	-1.86	1 200	1 210	0.83	0	0.81

注：“峰现时差/h”中的“+”表示洪峰滞后，“-”表示洪峰提前。

从小流域各场次洪水模拟可得出，水文特征指标确定相关模型参数，对各场次洪模拟的结果均较为理想。

4 结论

本文以西江流域为例，以 MODIS 影像为遥感数据源，从水文模型应用角度确立适用于流域水文模拟的土地利用分类体系，并在该体系的基础上提取有关水文特征指标，进行基于水文特征指标的流域水文模拟研究，减小模型参数率定的难度和不确定性，为无或少资料地区的流域水文模拟提供可行的技术方案，为日益完善的数字流域水文模型的研制提供理论基础。

参考文献：

- [1] 詹道江, 叶守泽. 工程水文学[M]. 北京: 水利电力出版社, 2000: 68-70.
- [2] 阿博特, 雷夫斯加德. 分布式水文模型[M]. 郝芳华, 王玲译. 郑州: 黄河水利出版社, 2003: 115-116.
- [3] 康玲. 流域水文模拟理论与方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [4] 蔡玉林. 多源遥感数据应用于鄱阳湖水环境研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2006.
- [5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 167-168.
- [6] 夏希. 基于地理学的流域水文模型参数推求研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [7] 袁飞. 考虑植被影响的水文过程模拟研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [8] Sellers P.J., Los S.O., Tucher C.J., et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data [J]. J. Climate, 1996 (9): 706-737.
- [9] 李红军, 雷玉平, 郑力. SEBAL 模型及其在区域蒸散研究中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20 (3): 321-324.

Study on Extraction and Application of Hydrological Characteristics

HE Hong¹, XIA Dazhong², GAN Haoxin¹

- (1. Comprehensive Technology Center of Pearl River Water Conservancy Commission, the Ministry of Water Resources, Shenzhen 510610, China;
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Hydrological simulation largely depends upon inputted data, but lack of adequate and sufficient data often has impact on providing a good description of hydrological processes. Remote sensing information can accurately define land use and cover situation, and also can be used to extract corresponding hydrological characteristics. Direct or assistant parameter determination in accordance with physical significance of model parameters is helpful for reducing uncertainty of parameter calibration, and population of hydrological model in the region where less or no data is available. With quantified remote sensing technology and MODIS data, a research is performed on the influence of land use classification system and extraction of hydrological characteristics upon river basin hydrological simulation, laying theoretical basis for the development of digital river basin hydrological model. Feasible technical scheme is also discussed.

Key words: MODIS; land use classification system; hydrological characteristics; Xinanjiang model; determination of model parameters

(上接第 3 页)

参考文献:

- [1] 李琪林, 刘强, 周明天. 论中间件技术及其分类[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2001, 24 (6): 657-659.
- [2] 陈楠. 多源空间数据集成的技术难点分析和解决策略[J]. 计算机应用研究, 2005 (10): 206-208.
- [3] Laura Haas, Eileen Lin. IBM 联邦数据库技术[DB/OL]. [2010-10-20]. <http://www.ibm.com/developerworks/cn/data/library/techarticles/0203haas/0203haas.html>.
- [4] 周竞涛. 企业异构数据源集成[N/OL]. 计算机世界, 2002-08-12. http://www.ccw.com.cn/hm/center/tech/02_8_30_2.asp.
- [5] 张晓林, 李宇. 描述知识组织体系的元数据[J]. 图书情报工作, 2002, (2): 64-69.

Data Integration and its Service Model Oriented to Water Business Application

LI Jianxun, XIE Jiancang, ZHANG Yongjin

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to solve problem of distributed heterogeneous data in water business application, a data integration scheme which combines data mapping and data collection is proposed in this thesis. The scheme carries out data collection through pattern copy by data transformation middleware between databases, and integrates large quantities of low-rate data by data mapping technology based on federal database, then realizes water business applications standardization and water information service integration by adopting component conception, which meets the needs of cross-basin hydrological data sharing and collaboration. The results show that this method can effectively implement data integration of different data sources, and provide a basic data platform for hydrological information system.

Key words: data integration; data mapping; data collection; water business application; service model