

# SRTM DEM 在 TOPMODEL 模型中的可用性分析

王培法

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

**摘要:** 以皎口水库流域为例, 用数字化 1:50 000 地形图所得 DEM 在 TOPMODEL 模型模拟中的结果作对比, 研究了 SRTM DEM 在 TOPMODEL 模型中的可用性。研究发现 SRTM DEM 水平分辨率约 90 m 的数据能够用于数字高程模型难以获取的大中型流域的 TOPMODEL 模型的水文模拟, 并能取得较好的模拟效果。

**关键词:** SRTM DEM; TOPMODEL; 可用性

**中图分类号:** P208

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)06-0194-02

## Analysis of the Usability of SRTM DEM in TOPMODEL

WANG Pei-fa

(Department of Urban & Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The usability of SRTM DEM in TOPMODEL is researched by comparing indexes of the simulation results that is got by TOPMODEL simulation using SRTM DEM and DEM produced by digitized 1:50 000 scale relief map in Jiaokou watershed. The conclusion of study is that SRTM DEM (about 90 m) can be used in TOPMODEL in big or middle level watershed where DEM can not be got and obtained good result.

**Key words:** SRTM DEM; TOPMODEL; usability

自从 Beven 和 Kirkby 于 1979 年提出 TOPMODEL 模型以来, TOPMODEL 模型已在水文领域中获得了广泛的应用<sup>[1]</sup>。TOPMODEL 模型是一个以地形为基础的半分布式水文模型, 其主要特征是利用地形指数来反映流域水文现象。模型结构简单, 优选参数少, 充分利用地形资料来描述流域物理水文过程。但在我国流域的数字高程模型较难获取, 尤其是对几百平方公里到几千平方公里的较大流域, 这无疑阻碍了 TOPMODEL 模型的研究和应用。SRTM DEM 的出现则有可能解决此问题, 但是否此数据可用于 TOPMODEL 模型并达到一定的模拟水平未见有过评述。下面将以 SRTM DEM 在皎口水库流域的应用为例, 来分析其在 TOPMODEL 模型中的应用。

### 1 SRTM DEM 简介

SRTM 是航天飞机雷达地形测图(The Shuttle Radar Topography Mission)的缩写, 此计划于 2000 年 2 月完成, 获得了北纬 60 和南纬 56 之间超过 80% 的高精度地表高程数据。SRTM DEM 以三种空间分辨率和两种区域范围来发布: (1) 约 30 m 水平分辨率的美国范围内的 DEM; (2) 约 90 m 分辨率的接近全球范围的 DEM; (3) 约 1 000 m 水平分辨率的全球范围内的 SRTM-GTOPO30 产品。

SRTM DEM 数据可由其主页上提供的 FTP 地址下载(<ftp://e0mss21u-ecs.nasa.gov/srtm/>), 下载的文件格式为 HGT 格式, 下载时根据研究区的经纬度选择所需文件。由于 SRTM DEM 数据在有些地区存在有无数据区及需对研究

区内的大量 HGT 文件进行拼接, 可用特定的软件(如 VT Builder)对下载的 HGT 文件进行无数据区的插值及多个 HGT 文件的拼接, 得到具有地理坐标的栅格文件。可将所得栅格文件输出为所需格式, 并转换到所需投影。

### 2 在 TOPMODEL 模型中的可用性评价

为更好的体现 TOPMODEL 模型变动产流面积的物理意义, 模型对流域 DEM 分辨率的要求是 50 m 以内<sup>[2]</sup>。但一些学者将低分辨率的 DEM 用于模型模拟, 也得到了较好的模拟结果, 如郭方(2000)<sup>[3]</sup>等将 TOPMODEL 模型应用的 DEM 分辨率拓宽到 500 m, 对淮河流域的白水河流域(面积 185 km<sup>2</sup>)和史灌河流域(面积 5 890 km<sup>2</sup>)的日径流过程进行了模拟, 效果尚好; 陈仁升(2003)<sup>[4]</sup>等用 1 500 m 分辨率 DEM 对黑河干流出山径流(流域面积 10 009 km<sup>2</sup>)进行了模拟, 发现由于 DEM 分辨率较低, 模拟的效果尚好, 但不能达到很好的模拟效果。从上可以看出, 两种 SRTM DEM 全球数据的分辨率 DEM 可用于 TOPMODEL 模型, 但 DEM 的水平分辨率对 TOPMODEL 的模拟有影响, 因此本文中选用了约 90 m 分辨率的 SRTM DEM 进行可用性评价。

#### 2.1 研究区概况

皎口水库流域位于奉化江支流樟溪上游大皎、小皎两溪汇合处的浙江省宁波市鄞县西部, 距宁波市 37 km, 流域控制面积为 259 km<sup>2</sup>, 最低高程 59 m, 最高高程 976 m。在气候上属亚热带季风气候区, 气候温和湿润, 四季分明。雨量充沛, 年平均降水量在 2 000 mm 以上, 雨量相对集中于 3 月至 7

\* 收稿日期: 2005-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40171015)

作者简介: 王培法(1980-), 男, 山东济南人, 研究方向为地理信息系统与遥感应用。

月上旬和8月下旬到9月间,雨水以夏秋热带风暴季节为最多,年均径流量达3.12亿m<sup>3</sup>。全年平均气温16.3,历年最高气温39.5,最低为-11.1。月平均气温以7月最高,1月最低。年日照时间2070h,无霜期约230d。流域内水体占10.5%,道路和居民地占4.4%,农田占14.9%,森林占70.2%。

2.2 数据准备及处理

本文采用TOPMODEL9701 Windows 版本,输入参数简化为5个,分别为M——指数型导水率函数参数,单位为m; LnT<sub>o</sub>, T<sub>o</sub>——土壤层完全饱和时的导水率,单位为m<sup>2</sup>/h; SRmax——土壤最大持水量,单位为m; SRinit——初始缺水量占土壤最大持水量的比率; CHvel——地表径流速率,单位为m/h。模型所需数据为模拟时段内的降雨、蒸发和流量的实测数据、地形指数分布、距流域出口距离及相应累积面积比率数据。后两者可由DEM来提取。

为评价SRTM DEM的可用性,数字化1:5万地形图得到流域DEM,并将两种DEM统一生成100m的栅格。用ARC/INFO软件从DEM中提取了集水面积参数栅格和坡度参数栅格,根据地形指数公式ln(α/tanβ)(α为流经坡面任一点处单位等高线长度的汇流面积,β为该点处的坡度),通过栅格运算计算了地形指数。由于在ARC/INFO中采用了D8法来计算上坡集水面积,所以在计算地形指数时等高线长度等于栅格的长度<sup>[9]</sup>。从两种DEM计算所得的地形指数的地形指数-面积曲线见图1。同时用ARC/INFO软件计算了流域内每一栅格上水流程至流域出口的距离,距流域出口距离-累积面积比图见图2。

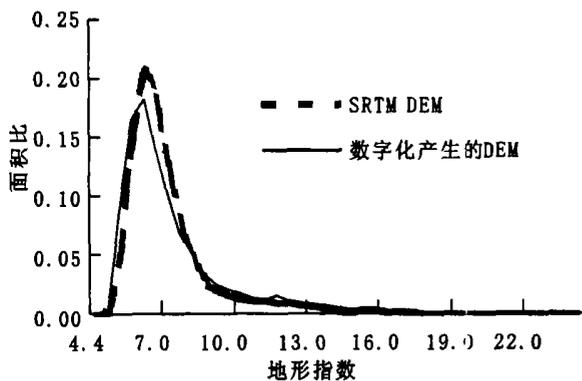


图1 地形指数-面积曲线图

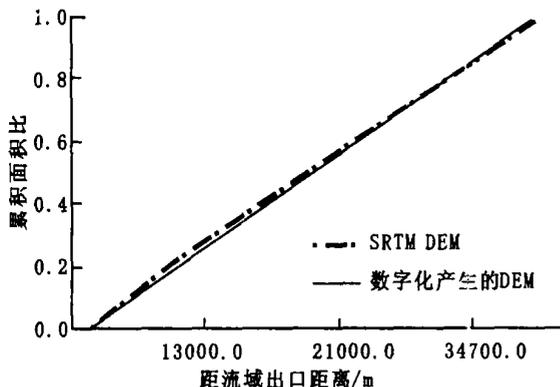


图2 距流域出口距离-累积面积比图

皎口水库流域蒸发资料缺乏,但由于流域气候湿润,所以蒸发没有考虑。降雨和实测流量数据有1979年至2001年

的以小时为间隔的7场洪水实测数据,见表1。将降雨(m/h)和实测流量(m<sup>3</sup>/h)的数据分别转换至模型所需单位(均为m/h)和格式。

表1 降雨场次-时间长度表

场次	79823	81830	87909	88729	92828	20913	21623
时间/h	88	133	168	56	114	72	144

2.3 评价方法及结果分析

评价方法如下所述:对数字化DEM提取模型所需的数据并用于模型模拟中,用试错法定出对各场洪水模拟均较好的一组参数;将此组参数用于以SRTM DEM为地形数据的模型模拟中,得到对应各场的模拟结果;对比两种不同DEM条件下,对应各场的模拟指标来评价SRTM DEM在TOPMODEL模型中的可用性。模拟指标采用TOPMODEL程序中的四个指标,各指标公式如下:

(1) EFF (Nash 模型效率系数R<sup>2</sup>或确定性系数)

$$EFF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

式中: Q<sub>o</sub>——观测流量值; Q<sub>s</sub>——流量模拟值;  $\bar{Q}_o$ ——观测流量平均值; N——模拟的时段数。以下各式中意义同此。

(2) SSE 残差平方和

$$SSE = \sum_{i=1}^N (Q_o - Q_s)^2 \quad (2)$$

(3) SLE 残差对数平方和

$$SLE = \sum_{i=1}^N [\log(Q_o) - \log(Q_s)]^2 \quad (3)$$

(4) SAE 绝对误差和

$$SAE = \sum_{i=1}^N |Q_o - Q_s| \quad (4)$$

当效率系数指标越接近1时,模拟的结果越好,其它三个指标越接近0时,模拟结果越好。用试错法定了对7场洪水模拟较好的一组参数为: M: 0.013 m; LnT<sub>o</sub>: 1 m<sup>2</sup>/h; SRmax: 0.05 m; SRinit: 0; CHvel: 5000 m/h; 用此组参数对以SRTM DEM为输入数据的模型进行了模拟,两种DEM情况下模型模拟指标对比见表2。

表2 两种DEM情况下TOPMODEL模型模拟指标对比表

场次	DEM产生方式	EFF	SSE	SLE	SAE
79823	数字化	0.951	7.78E-5	20.258	0.053
	SRTM	0.958	6.66E-5	18.56	0.048
81830	数字化	0.973	9.02E-5	32.487	0.065
	SRTM	0.974	8.94E-5	29.471	0.064
87909	数字化	0.902	1.05E-4	55.358	0.077
	SRTM	0.897	1.10E-4	52.812	0.078
88729	数字化	0.762	3.38E-4	1.06E2	0.064
	SRTM	0.785	3.07E-4	1.03E2	0.06
92828	数字化	0.84	4.27E-4	63.258	0.144
	SRTM	0.855	3.88E-4	62.076	0.139
20913	数字化	0.977	1.57E-5	15.013	0.027
	SRTM	0.974	1.75E-5	15.204	0.028
21623	数字化	0.736	2.60E-5	25.1	0.036
	SRTM	0.715	2.81E-5	23.603	0.036

场的围封和人工灌溉草场产草暂时较低,经济效益虽然能维持现状,但草地生态还未恢复。在建设期的第2~3年,灌溉人工草地的全额产草,使得载畜量上升到4 050个羊单位,相应的净效益也会上达到60.67万元,草地生态还未达到最大恢复潜力,在项目实施3年后,载畜量可上升到4 329个羊单位,净效益会上升到64.93万元,草地生态达到了最大恢复潜力(草地植被盖度75%,干草产量达1 200 kg/hm<sup>2</sup>),研究区域人均纯收入将由现在的2 210元上升到4 637元,真正实

现生态效益与经济效益的双赢。

### 3 小结

本项研究是在对沙、退化草地生态恢复与重建的各单项技术(草地封育、补播改良,灌溉人工牧草,灌溉青贮玉米等)进行了综合效益试验研究的基础上,应用目标规划优化方法求解得到,在确定措施和参数方面有待调整完善,模式尚需进行实地验证,提高其实用性。

(上接第195页)

从表2可以看出,对同一场洪水模拟来说,两种DEM情况下模拟结果相似,也就说明了在皎口水库流域SRTM DEM作为基础地形数据用于TOPMODEL模型时可获得较好的模拟结果。对单一流域的SRTM DEM在TOPMODEL模型中的可用性评价不能得出一般性的规律,应对若干典型流域进行分析并得出相应的结论。但Raaflaub(2002)6研究发现DEM中的误差对TOPMODEL影响甚微,Franchini等<sup>[7]</sup>(1996)发现TOPMODEL模型的模拟结果对地形指数-面积曲线的形状并不敏感,以及距流域出口距离-累积面积数据的不同可用模型中参数来调节或弥补,因此可以得出SRTM DEM(水平分辨率约90 m)数据可用于TOPMODEL

模型模拟,并能取得较好的模拟效果。

### 3 结论与讨论

从以上可以得出,SRTM DEM水平分辨率约90 m的数据能够用于数字高程模型难以获取的大中型流域的TOPMODEL模型的水文模拟,并能取得较好的模拟效果。SRTM DEM的出现将会拓宽TOPMODEL的应用范围和区域,由于受其水平分辨率的限制,其不适用于小型流域。由于不同的水文模型DEM的作用不同,SRTM DEM对其它基于DEM的水文模型来说可用性如何需进一步研究。

参考文献:

- [1] 熊立华,郭生练. 分布式流域水文模型[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] Band L E, Moore I D. Scale: landscape attributes and geographical information systems[J]. Hydrological process, 1995, 9: 401-422.
- [3] 郭方,刘新仁,任立良. 以地形为基础的流域水文模型-TOPMODEL及其拓宽应用[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 296-301.
- [4] 陈仁升,康尔泗,杨建平,等. TOPMODEL模型在黑河干流出山径流模拟中的应用[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 428-434.
- [5] Quinn P, Beven K J, Lamb R. The  $\ln(\alpha/\tan\beta)$  index: how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework[J]. Hydrologic Process, 1994, 9: 161-185.
- [6] L D Raaflaub. The effect of error in gridded digital elevation models on topographic analysis and on the distributed hydrological model Topmodel[D]. Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, 2002.
- [7] Franchini M, Wendling J, Obled C, et al. Physical interpretation and sensitivity analysis of the TOPMODEL [J]. Journal of Hydrology, 1996, 175: 293-338.

(上接第198页)

<sup>1</sup> 采用了滑动平均的思想,预测未来某时段的滑动平均降水量,预测范围扩大,预测精度提高。

<sup>④</sup>采用了聚类的方法对滑动平均降水量进行等级划分,更加充分地考虑了序列中数据结构的合理性,更加有效地显示了降水量序列的内在分布规律,使得区间的划分更加合理。

参考文献:

- [1] 邓聚贤,许刘俊. 随机过程[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [2] Sidney, Yakowitz. Markov flow models and the flood warning problem[J]. Water Resources Research, 1985, 21(1): 81-83.
- [3] 张曙红,曹建会,陈绵云. 灰色马尔可夫SCGM(1,1)预测模型[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2004, 3(1): 16-19.
- [4] 沈永欢,梁在中. 实用数学手册[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [5] 孙才志,林学钰. 降水预测的模糊马尔可夫模型及应用[J]. 系统工程学报, 2003, 8(4): 295-298.
- [6] 王本德. 水文中长期预报模糊数学方法[M]. 大连:大连理工大学出版社,1993.
- [7] 陈守煜. 水文水资源系统模糊识别理论[M]. 大连:大连理工大学出版社,1992.
- [8] 陈守煜. 中长期水文预报综合分析理论模式与方法[J]. 水利学报, 1997, (4): 15-21.

(四)计算序列的各阶自相关系数,归一化后作为马尔可夫模型的权重,充分、合理地利用已有信息,使得预测结果更为精确。

(2)根据滑动平均-马尔可夫模型,预测2003年的3年滑动平均降水量为567.2 mm。