

基于DEM的流域流水网对比分析

张行南,叶丽华,井立阳

(河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:在广东西江中下游区间流域和长江三峡区间流域上,运用 ARC/INFO 和 RiverTools,由数字高程模型(DEM)分别导出了不同空间比例尺下的流域流水网.对比分析结果表明:地形起伏大的流域上流水网的可靠性高;不同方法推导出的流水网存在一定的差异,尤其在地形起伏较小的流域上;由流水网计算的流域平均汇流路径长度和坡度等地形特征值随 DEM 网格的大小而变,故只能作为描述地形的相对指标.上述指标可应用于流域水文模拟中,但应用时需考虑地形的起伏程度和 DEM 网格的大小.

关键词:数字高程模型;流水网;地形特征值;水文模拟

中图分类号:P333.9

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)03-0001-04

数字高程模型(DEM)^[1]可在某一投影平面上,由规则网格点的平面坐标(X, Y)及高程(Z)的数据集构成. DEM 是详细描述地形和流域坡面上径流过程的一种有效模型.流域水文模拟中使用最多的是以正方形网格划分的 DEM.采用正方形网格的 DEM,对汇流过程进行描述的最好方法是流域流水网^[2].本文采用单方向模型,即认为每个网格上产生的径流在重力的作用下只流向与其相邻网格中最低的网格^[2].

本文在广东西江中下游区间和长江三峡区间上对流域流水网进行了研究,旨在通过对不同空间比例尺的 DEM,运用不同的工具,在不同地形的流域上生成的流域流水网进行对比分析,探讨流水网的可靠性和在流域水文模拟领域的实用性.

1 流域概况

广东境内西江中下游区间流域,位于北纬 $22^{\circ}15'$ ~ $25^{\circ}14'$,东经 $110^{\circ}41'$ ~ $112^{\circ}59'$,流域面积 2.54 万 km^2 ,河长 225 km.西江流域在广东境内分为南、北两半部,北部多高山,最高峰海拔 1626 m,中北部、南部为低山丘陵区,东部为河谷平原低山丘区,中部西江沿岸为河谷低水区.在广东境内汇入的主要支流有贺江、罗定江和新兴江.

长江三峡区间(指寸滩—宜昌)流域,东经 $106^{\circ}36'$ ~ $111^{\circ}14'$,北纬 $29^{\circ}37'$ ~ $31^{\circ}39'$,三峡工程坝址以上集

水面积约 100 万 km^2 ,区间干流全长 658 km,两岸支流程短、坡度大.三峡区间地势自西北向东南倾斜,地形复杂多样,山区、丘陵、平原都有.

2 流域流水网实用性研究

本文采用 ARC/INFO 和 RiverTools 两种推导流水网的工具,在上述两流域上由 DEM 分别生成了流水网.根据网格方向,可推求径流流经某网格所对应的区域,该区域称为这个网格的集水面积.给定一个集水面积的阈值,当某一网格相对应的集水面积大于该阈值时,认为该网格即为河网所处的网格,由此可推求出流域模拟河网^[2].

根据流水网可计算出每一网格的坡度.网格坡度是沿网格方向,两个相邻网格的高程差与距离的商值.流域平均坡度为流域内所有网格坡度的平均值.沿网格方向上的累积距离称为汇流路径长度.地表粗糙度是反映地表起伏变化及其侵蚀程度的指标,采用微分单元的两条对角线的中点高程差来表示地表的粗糙度^[3].

在西江中下游区间选取3个子流域,在三峡区间选取1个子流域,列出集水面积、平均坡度等地形特征值,分析研究了流水网的可靠性和实用性.

2.1 不同推导方法的对比分析

本文使用的 DEM 网格大小为 100 m,在上述两个流域上分别运用两种方法生成了流水网.

三峡区间流域地势起伏跌宕,属高山丘陵区,两种方法推求的流水网拟合程度都较好。

西江流域地势相对较平缓。图1为实际河网分布示意图。图2为运用 RiverTools 和 ARC/INFO 推导的流水网。通过分析可知,干流的拟合程度较好,但从流域边界的形状和流域面积来看,ARC/INFO 模拟较好,而 RiverTools 拟合较差,这主要是由于西江中下游地势比较平坦。

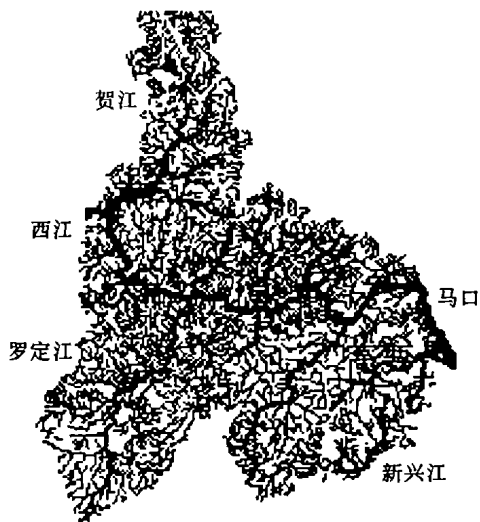


图1 西江中下游区间实际河网分布

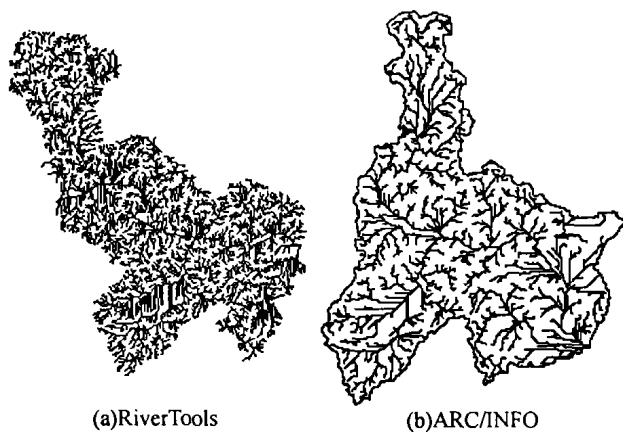


图2 使用两种方法由100 m DEM 网格生成的
西江中下游区间模拟河网

在西江中下游区间用 ARC/INFO 生成的流域流水网,虽然干流拟合的程度较好,但在新兴江流域腰古站附近发生流向与实际相反。分析可知,其它空间比例尺的 DEM 生成的流水网,也在该处发生了流向与实际相反的情况;而用 RiverTools 生成的流水网与实际河网相比在流向上没有产生很大误差。这主要是因为这两种工具在填洼处理方法上有所不同。

洼地(或称为坑),为一个或一组被考察的网格的所有相邻网格均高于被考察的网格^[2]。由测量和计算误差引起的或微地貌造成的并不蓄水的坑,必须剔除,否则由 DEM 导出的流水网中将出现不合理的断点。在 ARC/INFO 软件中,当某个被考察网格的

方向不能由相邻的 8 个网格高程来决定时,考察范围扩大到更外一层的 16 个网格,以此类推,直到可直接确定为止。因此,计算结果将会生成许多方向相对的网格方向,软件中将其定义为坑,将该坑内网格的高程都修改成坑边缘最低点的高程,由此来消除坑。显然,此法因对高程的大面积修正,会带来较大的误差。

腰古站附近为洼地,最高点高程 423 m,最低点高程 30 m,平均高程 80.18 m。在 100 m DEM 中,经过填洼后,坑里的高程都已被修改成 50 m,即坑边缘最低点的高程值。但此时坑中高程仍比附近网格高程低,并且大面积的等值高程形成洼地平坦区域,而在平坦区域,由 ARC/INFO 生成的流域流水网具有较大的任意性,生成的流域流水网与真实河网可能会有较大差异,最终导致腰古站附近发生流向与真实流向相反、支流出现断点的现象。

在三峡区间流域,两种方法生成的流水网在流域干流巫山站附近都发生了流向改变,使得干流出现了断点。究其原因,与新兴江流域相似。

当断点出现在支流上, RiverTools 可由人工确定流域的出口,从而自动改变断点处的网格方向,使流域连接成一个整体。而 ARC/INFO 没有这个功能。

由上述分析可知,由于 DEM 本身精度的限制, ARC/INFO 生成的流水网,从整个流域的形状、计算流域面积、模拟河网的拟合程度等方面都优于 RiverTools。而 RiverTools 在洼地的处理上要优于 ARC/INFO。但从总体上来说,模拟精度的高低与地形密切相关。

2.2 不同空间比例尺的 DEM 对比分析

将 100 m 的 DEM 中 4 个相邻网格的高程平均值作为 1 个格网的高程值,则可生成 200 m 网格的 DEM。同理可生成 400 m、600 m 和 800 m 网格的 DEM,均采用相同的集水面积阈值(10 km²)。采用 ARC/INFO 在西江流域生成的流域流水网见图 3。

在西江中下游区间流域上选取贺江、罗定江以及新兴江 3 个子流域,并根据流水网分别计算它们在不同空间比例尺下地形特征值,见表 1。

2.2.1 集水面积分析

从表 1 中的集水面积和图 3 可以看出,流域的集水面积和流域边界随着空间比例尺的不同,存在一定的差异。贺江流域集水面积变幅最大,800 m 网格的增幅为 15.6%。贺江流域 600 m、800 m 的 DEM 生成的流水网,由于流向发生变化,一些不属于该流域的小支流被增添进来,致使流域面积加大。随着网格的增大,计算流域面积的误差也变大。

表 1 不同空间比例尺下的地形特征值统计

DEM	流域集水面积/km ²			流域平均坡度			流域汇流路径长度/km		
	贺江	罗定江	新兴江	贺江	罗定江	新兴江	贺江	罗定江	新兴江
真实河网	11 536	4 493	1 655						
100 m 流水网	11 554	4 484	1 703	0.171 2	0.151 9	0.158 9	73.936	41.331	23.941
200 m 流水网	10 870	4 490	1 616	0.154 9	0.133 2	0.144 3	73.380	41.153	23.424
400 m 流水网	10 850	4 491	1 639	0.134 2	0.113 3	0.122 2	71.215	40.034	22.081
600 m 流水网	13 260	4 503	1 639	0.121 6	0.096 7	0.102 5	68.416	39.962	21.003
800 m 流水网	13 340	4 488	1 643	0.105 9	0.084 2	0.089 8	64.444	36.781	19.645

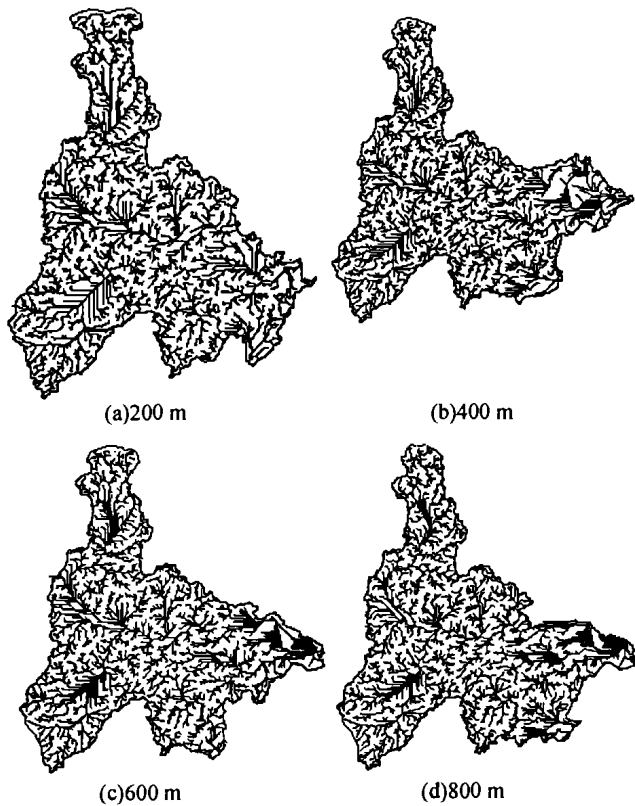


图 3 西江中下游区间 DEM 由 ARC/INFO 生成的流水网

2.2.2 流域坡度分析

从表 1 中的平均坡度可以看出,在这 3 个子流域上,流域的平均坡度随着空间比例尺的减小而显著减小.由于流域空间比例尺减小后栅格增大,栅格的高程数据被均化,一些微地貌特征被忽略,流域的地形被平坦化,网格坡度因此而变小.但是,各流域计算坡度间的相对关系没有变,故计算坡度可作为描述流域坡度的相对指标.

2.2.3 汇流路径长度分析

流域汇流路径的长短与流域大小、形状、地形等有关.从表 1 中的汇流路径长度可以看出,流域的汇流路径长度随着空间比例尺的减小而减小,但随网格大小的变化不是很大,基本上能反映流域汇流路径长短的基本特征,可以作为描述流域汇流特征的相对指标(图 4).

2.2.4 模拟河网分析

将不同空间比例尺生成的流水网(图 2(b),图 3)与真实河网(图 1)相比较,可以看出,流域干流的

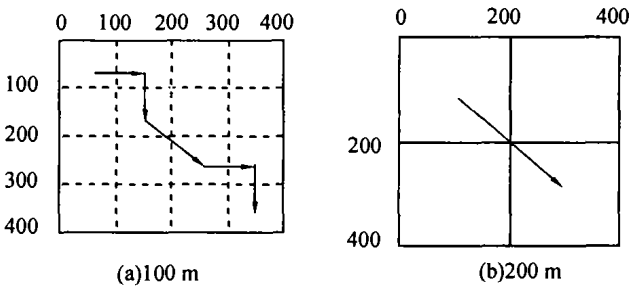


图 4 不同比例尺生成的汇流路径长度示意图(单位:m)

拟合程度都较好.但是随着空间比例尺的减小,拟合程度明显下降.如西江干流和北江的汇合点偏离真实位置马口站越来越远,小流域面积、形状以及流域平均坡度拟合程度也明显下降.其原因是由于流域空间比例尺的减小,流域栅格间距的增大,高程数据描述地形的精确性明显下降,因此生成的流域流水网的拟合程度也降低了.

由上述分析可知,由流水网计算的地形特征值精度随 DEM 空间比例尺的减小而明显降低,但计算平均坡度作为描述流域坡度的相对指标是可靠的,并不随 DEM 的空间比例尺而变.

2.3 不同流域的对比分析

在同一比例尺下(1:250 000),采用相同的网格大小(100 m DEM),在 3 个具有不同地形类型的流域上生成的流水网如图 5 所示.德庆流域为西江河谷平原低丘区,合水口流域为西江低山丘陵地区,大宁河流域是三峡区间的第一大支流,系高山地带.其部分地形因子见表 2.

表 2 由流水网推求的地形特征值

流 域	坡度	面积 /km ²	汇流路径 长度/km	流域粗 糙度	地形地貌
西 江 德 庆	0.154	833.0	20.405	1.577 23	河谷平原低丘区
西江合水口	0.218	170.9	9.243	1.844 43	低山丘陵地带
三峡大宁河	0.467	2 033.0	31.877	2.022 91	高山地带(巫山)

由图 5 与表 2 对比可知,大宁河拟合程度最好,合水口次之,德庆居末.流域的坡度越大地形起伏越大,流水网与真实河网的拟合程度也越高,即流水网的可靠性随流域粗糙度的增加而增加.

3 流水网在流域水文模拟领域中的应用

根据流水网,不仅能模拟河网,还可推求流域面

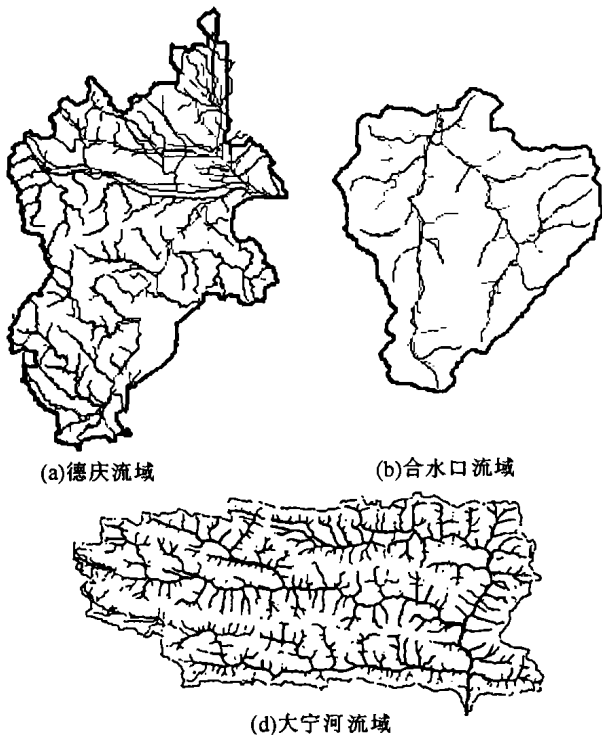


图5 采用 ARC/INFO 由 100 m DEM 生成的流水网示意图(黑实线为真实河网)

积、汇流路径长度、平均坡度等流域下垫面特征值。坡度是土壤水分运动的决定性因素之一,而土壤水分的运动将影响土壤含水量,从而影响径流的产生。坡度决定水流运动速度,与汇流路径长度一起决定了汇流时间。我国黄土高原的绥德试验站的研究结果表明^[4],在普通降雨条件下,坡度与径流呈反比;在特大雨强下,坡度与径流成正相关。根据以前的研究^[5],在三峡区间流域,利用计算的流域集水面积、坡度和汇流路径长度等特征值,与流域模型参数建立相关关系,可以解决无资料地区模型参数的移用问题,建立区间降雨径流实时洪水预报方案。因此,研究流域流水网及其地形特征值对流域水文模拟有着极其重要的作用。

4 结 语

本文在不同地形类型的流域上,采用 ARC/INFO 和 RiverTools 两种工具,对由不同空间比例尺的 DEM 所生成的流水网进行了对比分析。结果表明,在 DEM 精度不高的情况下,从整个流域的形状、计算流域面积、模拟河网的拟合程度等方面前者都优于后者,而在洼地的处理上后者要优于前者。流水网的可靠性与流域的地形密切相关,地形起伏越大,流水网与真实河网的拟合程度也越高,即流水网的可靠性随流域粗糙度的增加而增加。由流水网计算的集水面积、流域平均坡度和汇流路径长度等地形特征值的精度随 DEM 空间比例尺的减小而明显降低,但计算平均坡度和汇流路径等作为描述流域坡度的相对指标是可靠的,并不随 DEM 的空间比例尺而变。流域流水网及其地形特征值对流域水文模拟有着极其重要的作用。但是,流水网的可靠性和计算地形特征值的精度与流水网的推导方法、流域的地形以及 DEM 的空间比例尺有关。故在应用前需对所采用的 DEM 和流水网做仔细分析。

参考文献:

- [1] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉:武汉大学出版社,2001.
- [2] 张行南,齐晶,张丽.流域流水网推导方法[J].河海大学学报(自然科学版),2000,28(1):26~31.
- [3] 郭伦,刘瑜,张晶,等.地理信息系统——原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [4] 蔡强国,王贵平,陈永宗.黄土高原小流域侵蚀过程与模拟[M].北京:科学出版社,1998.
- [5] 井立阳.基于 GIS 的三峡实时洪水预报研究[D].南京:河海大学,2001.

(收稿日期:2003-10-20 编辑:张志琴)

·简讯·

第八届海峡两岸水利科技交流研讨会将在广州举行

海峡两岸水利科技交流研讨会每年在祖国大陆和台湾地区轮流举行。自 1995 年以来,研讨会已经分别在两岸举行了七次。各届会议均由中国水利水电科学研究院、台湾大学共同主办。第八届海峡两岸水利科技交流研讨会将于 2004 年 12 月 6~8 日在广州举行。本次研讨会的议题是:①流域规划与管理;②河道与河口综合整治与环境建设;③信息技术在水利中的应用。论文投稿截止日期 2004 年 8 月 20 日,台湾地区代表的论文寄往台湾大学会议秘书处,大陆地区及海外代表的论文寄到中国水利水电科学研究院会议秘书处。会议论文将由秘书处统一编辑、印刷论文集。

(本刊编辑部供稿)