

# 流域地貌参数影响因子分析

王欢<sup>1,2</sup>, 刘九夫<sup>1,2,3</sup>, 谢自银<sup>1,2</sup>, 王文种<sup>2</sup>

(1.南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210029;  
2.南京水利科学研究院,江苏 南京 210029;3.水利部应对气候变化研究中心,江苏 南京 210029)

**摘要:**在流域地貌特征提取中采用 AGREE 算法的关键技术,将水系形态特征融入数字高程模型形成水文数字高程模型。通过分析不同集水阈值(0.2km<sup>2</sup>、1km<sup>2</sup>、2km<sup>2</sup>、3km<sup>2</sup>、4km<sup>2</sup>、5km<sup>2</sup>)、不同比例尺(万分之一、5 万分之一、25 万分之一)、不同流域面积标准(0.2km<sup>2</sup>、1km<sup>2</sup>、2km<sup>2</sup>、3km<sup>2</sup>、4km<sup>2</sup>、5km<sup>2</sup>)下流域地貌参数,得出地貌参数的稳定性与河流分级有关,当河流级别达到 5 级时,参数不随比例尺、集水阈值、面积标准变化而变化。在缺资料地区洪水预报中,只要具备一定精度的地形数据及相应水系,即可满足流域地貌参数的获取。地貌瞬时单位线法相对较稳定,适用于无资料地区中小流域洪水预报。

**关键词:**流域地貌参数;变阈值;多比例尺;不同流域面积标准

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)05-0030-05

## 1 前言

3S 技术迅速发展以及地形地貌数据精度的提高,使得流域地形地貌特征高效准确获取成为可能,并为研究流域地形地貌特征对流域汇流的响应提供了基础。地貌瞬时单位线(GIUH)<sup>[1]</sup>定量的将地貌因子引入流域汇流,降低了对流域水文资料的依赖,为水文资料稀缺地区的洪水模拟及预报提供了一种好的解决途径<sup>[2]</sup>。

地貌瞬时单位线中引进的地貌因子  $R_B$ (分叉比)、 $R_L$ (河长比)、 $R_A$ (面积比)是流域地貌特征的统计值,它们与地形地貌数据的比例尺、集水阈值的选取以及不同流域面积标准以上河流的选取之间的关系需要做进一步的分析工作,进而探讨影响流域汇流的流域地貌规律。

文章分 3 种途径获取地貌参数,并分析其对地貌瞬时单位线汇流成果的影响。

(1)对比分析不同集水阈值下获取的地貌参数,集水阈值不同影响水系长度和水系分叉等属性;

(2)对比分析万分之一、5 万分之一、25 万分之一 3 种比例尺数据获取的地貌参数;

(3)对比分析不同面积标准的河流地貌参数,河流定义为从河口向河源搜索,选择面积唯大、河长唯长的一支为主干,再依次类推确定支流<sup>[3]</sup>,见图 1。分别挑选

出标准面积 0.2 km<sup>2</sup>、1 km<sup>2</sup>、2 km<sup>2</sup>、3 km<sup>2</sup>、4 km<sup>2</sup>、5 km<sup>2</sup> 及以下的河流。

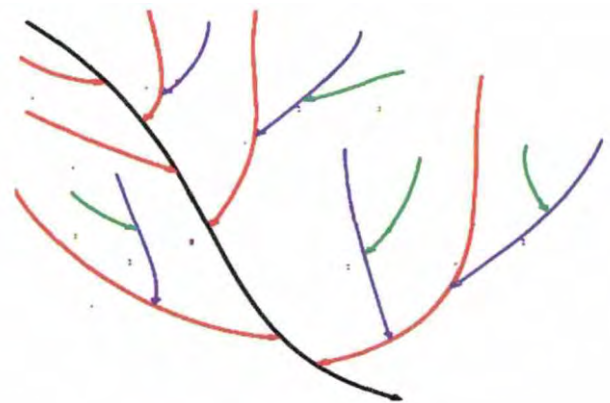


图1 干支流逐级递推河流  
Fig.1 The river levels based on the main stream and tributaries step by step recursive

## 2 研究区概况及技术路线

研究区选取峡口水文站断面以上流域,为江山港的上游段。水系发源于浙江省江山市双溪口乡高滩村,海拔 1 110m,出口断面高程 185m,干流河流比降为 7.9‰。峡口以上流域面积 404km<sup>2</sup>,主干流长 49km。流域内年平均降雨 1 924mm,年平均径流 1 254mm。

研究区共有江山双溪口、大平头、岭头、达芋口、岩

收稿日期:2014-06-06

基金项目:国务院第一次全国水利普查(GQ510003)

作者简介:王欢(1983-),女,安徽舒城人,博士,主要从事流域地形地貌形态学方面研究。E-mail: wanghuan@nhri.cn

坑口、白水坑、峡口、东坑 8 个雨量站以及峡口水文站。基于 DEM 渲染的河流水系以及雨量站、水文站分布见图 2。

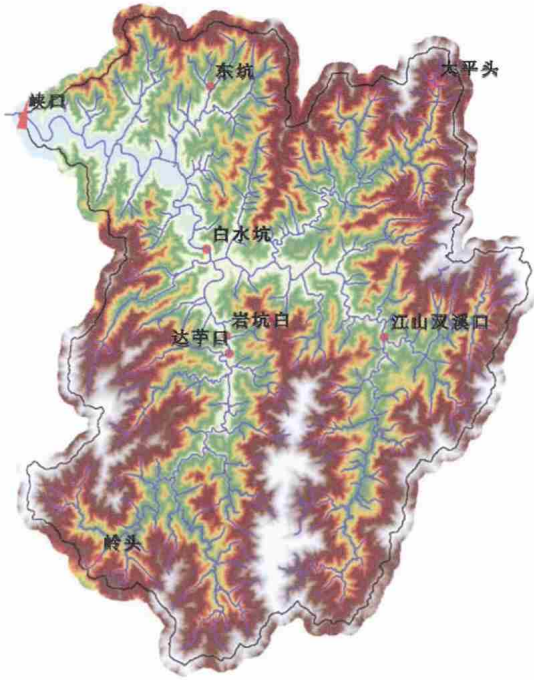


图 2 基于 DEM 渲染的河流水系以及雨量站、水文站分布图  
Fig.2 Distribution of the river systems, rainfall stations and hydrometry stations based on DEM

文章选用多种比例尺数据:1:10000DEM (数字高程模型)及 DLG(数字线划图),1:50000DEM 及 DLG, 1:250000DEM 及 DLG;峡口水文站连续 15 a 流量资料及对应的 8 个雨量站资料。图 3 为文章技术路线。

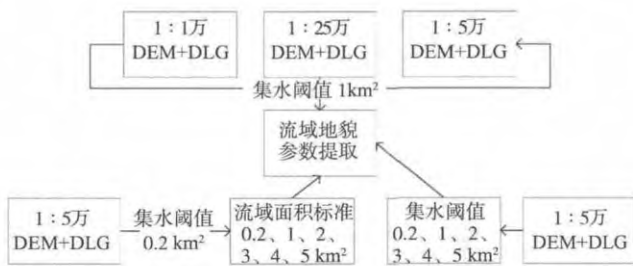


图 3 技术路线图  
Fig.3 The technology roadmap

### 3 地貌特征提取关键技术

DEM 在生产过程中没有采集水系形态特征的控制高程点,提取的数字水系与实际水系存在差异,影响地貌特征参数精度。本文采用融合数字线划图形成水文 DEM 的方法<sup>[4]</sup>(AGREE 算法如图 4 所示)提取与实际水系吻合的数字水系。地貌特征提取流程如图 5 所示。

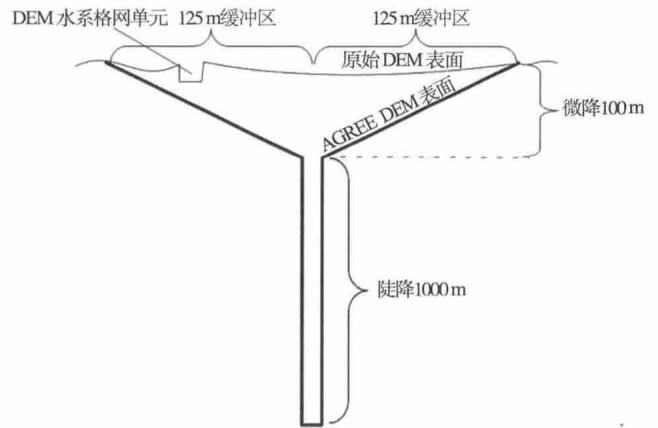


图 4 AGREE 算法示意图  
Fig.4 The schematic of the AGREE algorithm

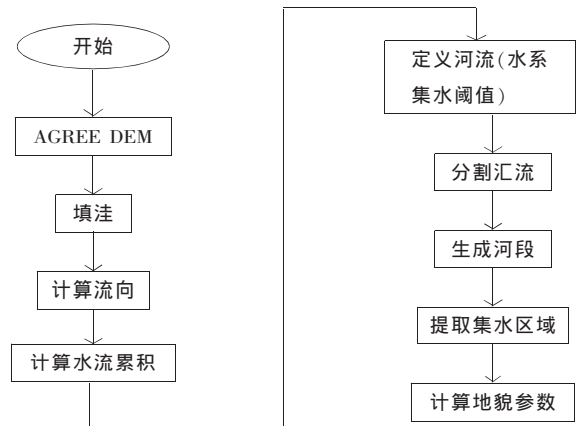


图 5 地貌参数提取流程  
Fig.5 The geomorphology parameter extraction process

### 4 应用实例

文章在五万分之一比例尺数据上,分别提取集水阈值为 0.2 km<sup>2</sup>、1 km<sup>2</sup>、2 km<sup>2</sup>、3 km<sup>2</sup>、4 km<sup>2</sup> 以及 5 km<sup>2</sup> 的水系。水系源头随集水阈值的增大而降低,水系长度减短,水系分叉减少。详见图 6 不同阈值 Strahler 河流分级,表 1、2 不同集水阈值流域地貌参数。分别基于万分之一、5 万分之一、25 万分之一比例尺资料提取集水阈值为 1 km<sup>2</sup> 的水系,不同比例尺 Strahler 河流分级见图 7a~e,不同比例尺流域地貌参数见表 3、4(5 万分之一比例尺成果见图 6-b,表 1~2 阈值 1 km<sup>2</sup>)。

以 5 万分之一为数据源,集水阈值设定 0.2 km<sup>2</sup> 提取水系,在此基础上从河口向河源搜索,选择面积唯大、河长唯长的一支为主干,再依次类推确定支流。以

不同流域面积标准 0.2 km<sup>2</sup>、1 km<sup>2</sup>、2 km<sup>2</sup>、3 km<sup>2</sup>、4 km<sup>2</sup> 及 5 km<sup>2</sup> 挑选河流,再转换为 strahler 河流,如图 7f 所

示,不同标准流域地貌参数见表 3~4 (流域面积 0.2 km<sup>2</sup> 标准见图 6-a,表 1、2 阈值 0.2 km<sup>2</sup>)。

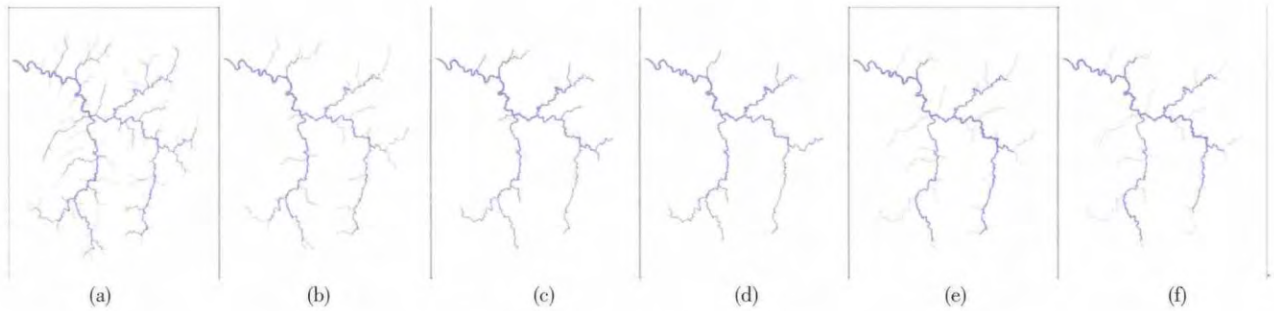


图 6 不同阈值河流分级图

Fig.6 The river grading based on the different thresholds

表1 缺口不同集水阈值流域地貌参数1

Table1 The gap' s geomorphic parameters based on different catchment thresholds 1

级别(i)	N/条						L/km					A/km <sup>2</sup>						
	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>
1	496	112	58	41	28	22	0.59	1.27	1.76	2.05	2.89	3.22	0.47	2.26	4.42	6.05	9.18	10.9
2	113	26	13	8	5	5	1.17	2.67	4.75	6.78	11.6	10.7	2	8.7	18.9	26.9	57.4	57
3	28	6	4	3	1	1	2.88	8.18	10.2	11.4	32.9	32.9	8.06	37	81.5	100	404	404
4	6	2	1	1			8.8	14.1	23	23			36.99	157	404	404		
5	2	1					14.09	19.6					157.4	404				
6	1						19.55						404.3					

表2 缺口不同集水阈值流域地貌参数2

Table2 The gap' s geomorphic parameters based on different catchment threshold 2

级别(i)	R <sub>B</sub>						R <sub>L</sub>					R <sub>A</sub>						
	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup>	1km <sup>2</sup>	2km <sup>2</sup>	3km <sup>2</sup>	4km <sup>2</sup>	5km <sup>2</sup>
2	4.39	4.31	4.46	5.13	5.6	4.4	1.97	2.11	2.69	3.31	4	3.33	4.26	3.84	4.28	4.44	6.26	5.22
3	4.04	4.33	3.25	2.67	5	5	2.47	3.06	2.16	1.68	2.84	3.07	4.04	4.25	4.31	3.73	7.04	7.1
4	4.67	3	4	3			3.06	1.72	2.25	2.01			4.59	4.26	4.96	4.03		
5	3	2					1.6	1.39					4.26	2.57				
6	2						1.39						2.57					
平均值	3.62	3.41	3.9	3.6	5.3	4.7	2.1	2.07	2.37	2.33	3.42	3.2	3.94	3.73	4.52	4.07	6.65	6.16

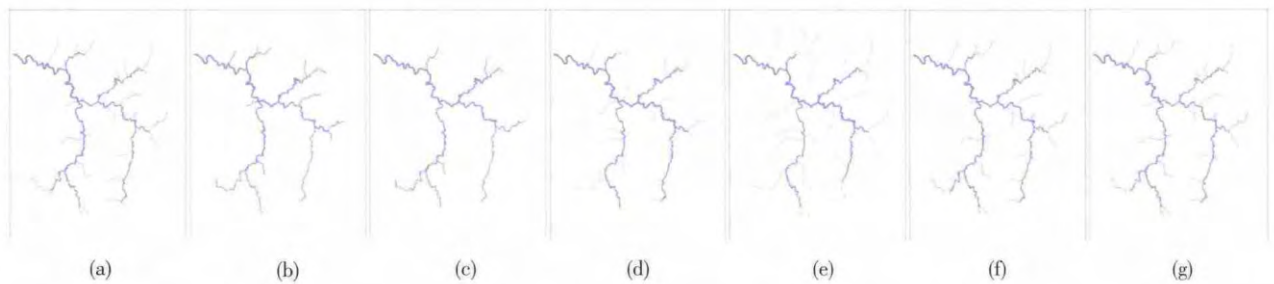


图 7 a~e 不同面积标准 f~g 不同比例尺河流分级图

Fig.7 The river grading based on different area levels (a-e); river grading map based on different scales (f-g)

表3 峡口不同标准、比例尺流域地貌参数1  
Table3 The gap's geomorphic parameters based on different standers and scales 1

级别(i)	$N_i$ /条					$L_i$ /km					$A_i$ /km <sup>2</sup>										
	1	2	3	4	5	1万	25万	1	2	3	4	5	1万	25万	1	2	3	4	5	1万	25万
1	113	59	41	29	22	111	113	2.23	3.43	4.28	5.39	6.37	1.27	1.17	2.25	4.33	6.05	8.76	10.9	2.24	2.02
2	27	13	8	6	5	27	30	2.52	4.82	6.78	8.55	10.7	2.75	2.13	8.34	18.90	26.88	44.7	57.4	8.53	7.7
3	6	4	3	2	1	6	6	8.46	10.23	11.42	9.72	32.9	8.46	6.49	37	81.48	100.3	89.1	404	36.9	36.6
4	2	1	1	1		2	2	14.1	22.99	22.99	23		14	12.7	157	404	404	404		157	157
5	1					1	1	19.6					19.7	19.9	404					405	406

表4 峡口不同标准、比例尺流域地貌参数2  
Table4 The gap's geomorphic parameters based on different standers and scales 2

级别(i)	$R_B$					$R_L$					$R_A$										
	1	2	3	4	5	1万	25万	1	2	3	4	5	1万	25万	1	2	3	4	5	1万	25万
2	4.19	4.5	5.1	4.8	4.4	4.1	3.8	1.1	1.41	1.59	1.59	1.68	2.16	1.82	3.71	4.36	4.44	5.11	5.27	3.8	3.82
3	4.5	3.3	2.7	3	5	4.5	5	3.4	2.12	1.68	1.14	3.07	3.08	3.04	4.43	4.31	3.73	1.99	7.04	4.33	4.76
4	3	4	3	2		3	3	1.7	2.25	2.01	2.37		1.66	1.96	4.26	4.96	4.03	4.54		4.26	4.29
5	2					2	2	1.4					1.41	1.57	2.57					2.57	2.58
平均值	3.42	3.9	3.6	3.3	4.7	3.4	3.4	1.9	1.93	1.76	1.7	2.37	2.08	2.1	3.74	4.55	4.07	3.88	6.15	3.74	3.86

4.1 流域地貌特征分析

随着集水阈值的增大, strahler 河流条数递减, 河流总长度递减, 总流域面积不变。随着标准面积增大, strahler 河流条数递减, 河流总长度递减, 总流域面积不变。其中不同面积标准河流的河长、面积等特征不随标准的变化而变化。

通过对比不同集水阈值、不同面积标准的流域地貌参数, 得出当集水阈值或标准面积在某个范围内, 水系分级维持在 4 以上, 地貌参数之间差异小, 相对稳定; 当集水阈值或标准面积增大到一定值时, 水系级别减少到 3 级, 对应的两种方法分别在集水阈值为 4km<sup>2</sup> 和面积标准为 5km<sup>2</sup> 时发生突变。由图 6 和图 7 可见: 集水阈值大于 4km<sup>2</sup>, 水系分叉减少为 3 级。标准面积大于 5km<sup>2</sup>, 水系分叉减少为 3 级。而 3 种比例尺的变化对地貌参数计算结果影响甚微, strahler 河流级别均为 5 级。见图 8, 表 5。

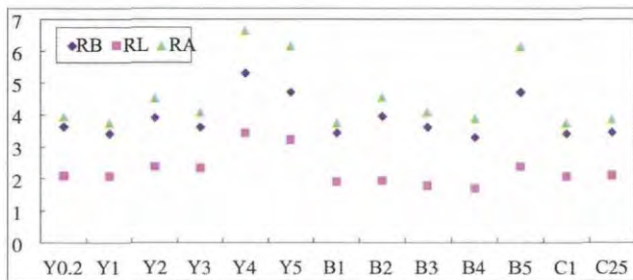


图 8 峡口不同方法流域地貌参数变化

Fig.8 The gap's geomorphic parameters based on different methods

表5 峡口不同方法流域地貌参数  
Table5 The gap's geomorphic parameters based on different methods

	$R_B$	$R_L$	$R_A$
阈值 0.2km <sup>2</sup> (Y0.2)	3.62	2.1	3.94
阈值 1km <sup>2</sup> (Y1)	3.41	2.07	3.73
阈值 2km <sup>2</sup> (Y2)	3.9	2.37	4.52
阈值 3km <sup>2</sup> (Y3)	3.6	3.6	4.07
阈值 4km <sup>2</sup> (Y4)	5.3	3.42	6.65
4 阈值 5km <sup>2</sup> (Y5).7	4.7	3.2	6.16
面积标准 1km <sup>2</sup> (B1)	3.42	1.88	3.74
面积标准 2km <sup>2</sup> (B2)	3.93	1.93	4.55
面积标准 3km <sup>2</sup> (B3)	3.6	1.76	4.07
面积标准 4km <sup>2</sup> (B4)	3.28	1.7	3.88
面积标准 5km <sup>2</sup> (B5)	4.7	2.37	6.15
万分之一(C1)	3.4	2.08	3.74
25 万分之一(C25)	2.1	2.1	3.86

文章又选取洪家塔水文站以上 154km<sup>2</sup> 的流域做相同分析(图表略)。在集水阈值 2km<sup>2</sup> 和标准流域面积 2km<sup>2</sup> 时变化较大, 河流级别均由 4 级降到 5 级。在计算中小河流地貌参数时, 根据研究区域大小合理选择集水阈值, 保证数字水系河网发育程度, 一般选用 5 级左右能满足生产要求。



## 4.2 预报结果

将不同方法计算的流域地貌特征参数应用于地貌瞬时单位线<sup>[5]</sup>,模拟流域出口流量并与实测流量比较:集水阈值 5km<sup>2</sup>与面积标准 5km<sup>2</sup>误差大,其余洪峰相对误差在 1.3%,见图 9。

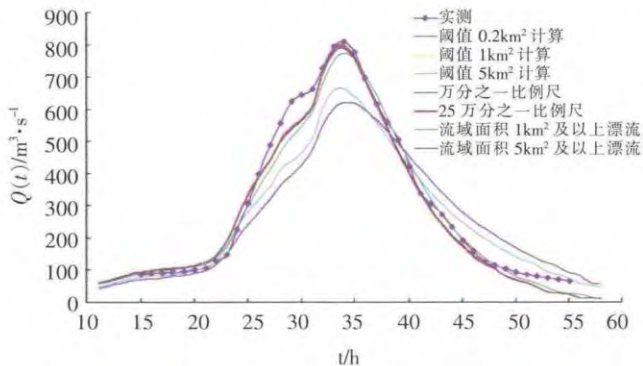


图 9 不同方法下 GIUH 次洪模拟流量过程图

Fig.9 GIUH flood flow simulation process based on different methods

## 5 结论

文章分不同比例尺、不同集水阈值、不同标准提取流域地貌参数,通过分析得出地貌参数的稳定性与河流分级有关,当河流级别达到 5 级时,参数不随 3 种比例尺、集水阈值、面积标准而变化。因此在缺资料地区洪水预报中,具备一定精度的地形数据及相应水系,即满足流域地貌参数的获取。因而地貌瞬时单位线法相对较稳定,适用于无资料地区中小流域

洪水预报。

地貌瞬时单位线考虑流域地貌参数,有效的解决了资料稀缺地区的洪水模拟和预报。但它对地貌参数的应用是基于地貌参数的统计,没有达到分布式的概念,因而地形地貌特征对流域汇流的响应不显著。以流域单元为基本单位,将不同级别河流之间的汇入关系、水系流域特征的描述及数学表达应用于流域汇流,建立新的地貌参数汇流模型亟待解决。

参考文献:

- [1] RODRIGUEZ-ITURBE I, VALDES J B. Geomorphologic structure of hydrologic response [J]. Water Resources Research, 1979,15(6):1409 – 1420.
- [2] 芮孝芳. 地貌瞬时单位线研究进展[J]. 水科学进展, 1999,10(3):345–350. (RUI Xiaofang. Some advances in geomorphologic instantaneous unit hydrograph theory [J]. Advances in Water Science, 1999,10 (3):345–350. (in Chinese))
- [3] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 河湖基本情况普查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (First National Water Resources Census Leading Group Office of the State Council. Basic Situation of River and Lakes Census [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))
- [4] Hellweger F. AGREE-DEM Surface Reconditioning System[DB/OL]. <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishyd97/terrain/agree/agree.htm>, 1996.
- [5] 文康,金管生,李蝶娟,等. 地表径流过程的数学模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991:263–294. (WEN Kang, JIN Guansheng, LI Diejuan, et al. Simulation of Surface Runoff Process of Mathematics [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1991:263–294. (in Chinese))

## Factor Analysis of Geomorphic Parameters

WANG Huan<sup>1,2</sup>, LIU Jiufu<sup>1,2,3</sup>, XIE Ziyin<sup>1,2</sup>, WANG Wenzhong<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,

Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

3. Research Center for Climate Change, MWR, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** In this paper, AGREE algorithm was applied to extract the geomorphic features. The system adjusts the surface elevation of the DEM to be consistent with a stream, which is formed hydrological digital elevation models integrate digital elevation models. Analysis was on the topography parameters derived from different catchment threshold (0.2km<sup>2</sup>, 1km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>, 3km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>, 5km<sup>2</sup>), different scales (1:10000, 1:50000, 1:250000), and different areas of the standard basin (0.2km<sup>2</sup>, 1km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>, 3km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>, 5km<sup>2</sup>). The result shows that the topography parameters do not change with catchment threshold, scales and area of the standard if the river orders is 5.

**Key words:** geomorphic parameters; different catchment threshold; different scales; standard of different basin areas