

# 基于 DEM 的典型地貌区河流形态特征分析

雷 雪<sup>1,2</sup>, 罗明良<sup>2,3</sup>, 周 毅<sup>1</sup>, 徐亚莉<sup>2,3</sup>, 慕 凯<sup>2,3</sup>

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710000;

2. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637000;

3. 西华师范大学地表过程与环境变化研究所, 四川 南充 637000)

**摘 要:**为分析不同地貌类型区的河流形态特征差异, 遴选了川中丘陵区、黄土高原、辽河平原三个不同地貌类型区, 选择西江河、清水川及沙河的代表性小流域, 基于数字地形分析方法, 计算了三个样区的分形维数、地形起伏度、平均坡度, 对比了丘陵、高原、平原三种地形条件下中小起伏山地河网形态的差异。研究表明: 三个小流域河网的分支比分别为 3.46、4.45、4.20, 长度比分别为 1.87、2.48、2.05; 河网分形维数为 1.99、1.64、1.99。Horton 参数能够较好地刻画流域发育状况, 可以为不同地貌类型河流形态特征分析提供参考。

**关键词:**水文分析; 河流分级; 分形维数; Horton 定律

中图分类号: P931

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)04-0048-07

河网是地表流水地貌的重要组成部分, 具有自相似性等特点。不同地区的自然环境条件不同, 从而形成了千差万别的河网形态<sup>[1]</sup>; 河网形态对土壤侵蚀、水文过程、流域演变和地貌发育等有一定影响<sup>[2]</sup>。

20 世纪 60 年代以来, 数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEMs) 等新技术的引入及广泛应用为河网形态特征分析提供了基础, 在提取流域形态特征、模拟地表水文过程等方面进行了大量研究<sup>[3]</sup>; ArcGIS 等地理信息技术软件为水文分析提供了强大的数据处理平台和分析基础<sup>[4]</sup>, 在基于 DEM 的流向相似性、汇流阈值的确定及其影响因素、河网形态特征分析等方面取得长足进展<sup>[5-7]</sup>; 河网形态的自相似性成为研究的热点之一。分形理论较早地运用于地貌学, 使得地貌学研究形成了“分形地貌学”<sup>[8]</sup>。河网作为典型的地貌现象之一, 貌似杂乱无章, 在分形理论的框架下却有其特定的数理规律<sup>[9]</sup>。20 世纪 90 年代中期学者采用河网分形, 探究水系分形特征与流域地貌发育的关系<sup>[10]</sup>, 用于刻画水系的分形特征及其差异<sup>[11]</sup>。现有水系分形研究中, 艾南山研究了分形理论在地貌学上的意义<sup>[8]</sup>; 梁春玲通过分形理论, 建立数学模型, 计算出水系分维, 揭

示流域地貌形态特征<sup>[12]</sup>; 李后强利用分维原理探究了水系特征之间的关系<sup>[13]</sup>。研究表明在不同自然条件和地质环境下, 河网形态及发育特征也会存在差异<sup>[5]</sup>。Horton 认为同一水系中, 水道数目、长度等水系结构参数与河道级别关系密切<sup>[14]</sup>, 其中的分支比、长度比在衡量水网密度和河流发育程度上有重要的意义。

为进一步分析不同地貌相似地形类型区, 河网发育程度及其形态特征的差异, 本文选取川中丘陵区、黄土高原沟壑区、辽河平原中小起伏山地三种典型水系的小流域, 通过长度比、分支比、分形维数等指标, 揭示了丘陵、山地的河流形态特征差异, 初步探讨了河网形态差异的影响因素。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

研究选择了三种不同地貌类型区内的小流域, 分别为嘉陵江水系支流西江河、黄土高原黄河水系支流清水川和辽河平原沙河支流。西江河位于嘉陵江干流的中游南充市境内, 属中亚热带季风气候区<sup>[15]</sup>; 年降水量 1 100 mm, 地貌以丘陵为主, 浅丘平坝、中丘中谷、

收稿日期: 2017-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201414); 西华师范大学基本科研业务费专项(15C002); 西华师范大学博士启动基金项目(12B015)

作者简介: 雷雪(1993-), 女, 四川达州人, 大学本科, 研究方向为 GIS 应用及数字地貌。E-mail: 294937497@qq.com

通讯作者: 罗明良(1978-), 男, 河南信阳人, 教授, 博士后, 研究方向为 GIS 应用及数字地貌。E-mail: lolan586@163.com

高丘低山类型各占 1/3。黄土高原清水川支流,位于陕西省境内,属温带季风气候,年降水量 400 mm 左右,年蒸发量为 1 500mm 左右,降水年变率大,蒸发强烈,地表沟壑纵横<sup>[16]</sup>。辽河平原沙河支流,位于铁岭市西丰县,辽东丘陵与辽西丘陵之间;该区域属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季暖热多雨,雨热同期,日照充足,冬季、春季多大风。河流中下游比降小,水流缓慢,地势平坦<sup>[17]</sup>。

1.2 数据来源

本文所用数据来自地理空间数据云中的 ASTER GDEM 数据,其水平格网分辨率约 30m。对数据进行镶嵌、地图投影、水文分析和掩膜提取等预处理,最终得到三个样区 DEM。

2 研究流程与方法

2.1 研究流程

对样区进行水文分析,首先进行填洼处理,其次计算河流流向和汇流累积量,再次在栅格计算器中设定阈值,使用 Strahler 河网分级的方法确定最佳阈值,并在其基础上进行河网分级,最后计算出分支比、长度比和分形维数,流程如图 1。

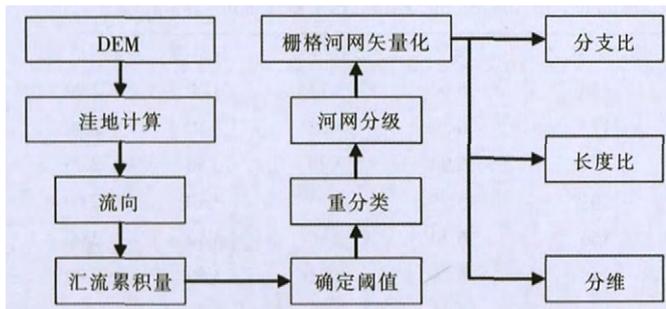


图 1 水文分析流程图

Fig.1 The flow of the hydrological analysis

2.2 研究方法

Horton 定律认为,同一水系中水道总长度、水道平均长度、水道级别与水道数目存在一定的联系<sup>[18]</sup>,通常情况下呈几何级数变化。在 Strahler 河网分级法的 Horton 水系定律中这些关系体现在数目律公式(1)、长度律公式(2)上:

$$N_k = R_b^{w-k} \tag{1}$$

$$L_k = L_1 R_l^{k-1} \tag{2}$$

式中: $k$  为水道级别; $w$  为水道最高级别数; $N_k$  为第  $k$  级水道条数; $L_k$  为第  $k$  级水道平均长度 (m); $R_b$  为分支

比; $R_l$  为长度比。

Horton 第二定律用  $lgR_b/lgR_l$  表示水系的一种分维<sup>[9, 18]</sup>, $D$  为水系分维值,公式如下:

$$D = lgR_b / lgR_l \tag{3}$$

地形起伏度表示研究区域内最大高程与最小高程之差,表示分析区的高程起伏情况。地形起伏度计算公式如下:

$$RF_i = H_{max} - H_{min} \tag{4}$$

式中: $RF_i$  为地形起伏度; $H_{max}$  为最大高程值; $H_{min}$  为最小高程值。

3 结果与分析

3.1 提取河网的阈值确定

本次研究选取了三个不同地貌类型的流域,基于 ArcGIS 软件平台和 Strahler 河网分级理论基础<sup>[9]</sup>,设置不同的阈值,提取得到不同形态、不同级别的河网,将阈值、河网级别及各个级别对应的河段数目分别统计。其中,嘉陵江水系支流和黄土高原清水川支流阈值以 500 为起始值,100 为阈值梯度,2 000 为最大值(见表 1);辽河平原沙河支流阈值以 1 000 为起始值,100 为阈值梯度,2 500 为最大值(见表 2)。

在进行河网提取时,阈值会对河网提取的结果产生影响,不同的河流在提取河网时都有对应的最佳阈值,本文选用相邻三个阈值的平均分支比趋于稳定时的中间阈值,作为最佳阈值。阈值的确定影响水系的形态特征,阈值越大,形成的对应河网越稀疏,适用于大尺度流域的河网提取,但无法反映小支流;阈值越小,形成对应的河网越密集,适用于小流域的河网提取,但容易产生伪河道。故确定最佳阈值是进行河网分级的前提<sup>[19]</sup>。Strahler 定义水系平均分支比为相邻两级水道分支比与相邻两级水道总数的乘积的累计总量,除以相邻两级水道总数的累计总量<sup>[20]</sup>。

通过李精忠<sup>[21]</sup>提出的平均分支比趋于稳定值的方法与表 1、表 2 相结合,分析得到嘉陵江水系支流西江河、黄土高原清水川支流和辽河平原沙河支流的最佳阈值分别为 1 400、1 200、2 400。基于相应的最佳阈值进行水文分析得到河网水系结构,如图 2 所示。

河网分级的真正意义是反映流域地貌的侵蚀发育程度<sup>[11]</sup>,相关研究表明集水区的面积阈值取决于流域年降水量、平均坡度、地表植被覆盖和下垫面要素<sup>[7]</sup>。降水越充沛,地形越陡峭,植被越茂密,集水面积的阈

表1 嘉陵江水系支流与黄土高原清水川支流阈值及分级条数

Table1 The thresholds and counts of different levels river segments in the Jialing river tributary and Qingshui river tributary of the loess plateau

阈值	1级		2级		3级		4级		5级		总计条数		1级/2级		2级/3级		3级/4级		4级/5级	
	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清	西	清
500	350	201	62	38	13	10	4	3	1	1	430	253	5.65	5.29	4.77	3.80	3.25	3.33	4	3
600	290	152	57	29	13	8	4	3	1	1	365	193	5.09	5.24	4.38	3.63	3.25	2.67	4	3
700	246	135	51	25	9	7	3	3	1	1	310	171	4.82	5.40	5.67	3.57	3.00	2.33	3	3
800	218	125	44	24	9	4	3	2	1	1	275	156	4.95	5.21	4.89	6.00	3.00	2.00	3	2
900	201	114	41	19	10	4	2	2	1	1	255	140	4.90	6.00	4.10	4.75	5.00	2.00	2	2
1000	188	101	38	18	8	4	2	2	1	1	237	126	4.95	5.61	4.75	4.50	4.00	2.00	2	2
1100	169	90	34	16	8	4	2	2	1	1	214	113	4.97	5.63	4.25	4.00	4.00	2.00	2	2
1200	142	82	28	14	6	4	2	1	1		179	101	5.07	5.86	4.67	3.50	3.00	4.00		2
1300	123	75	26	14	6	4	2	1	1		158	94	4.73	5.36	4.33	3.50	3.00	4.00		2
1400	121	69	23	14	5	6	2	1	1		152	88	5.26	4.93	4.60	3.50	2.50	4.00		2
1500	113	61	23	13	5	4	2	1	1		144	79	4.91	4.69	4.60	3.25	2.50	4.00		2
1600	108	57	21	13	5	4	2	1	1		137	75	5.14	4.38	4.20	3.25	2.50	4.00		2
1700	104	53	21	13	5	4	2	1	1		133	71	4.95	4.08	4.20	3.25	2.50	4.00		2
1800	96	49	20	12	5	4	2	1	1		124	66	4.80	4.08	4.00	3.00	2.50	4.00		2
1900	92	43	20	10	5	4	2	1	1		120	58	4.60	4.30	4.00	2.50	2.50	4.00		2
2000	89	40	20	10	6	4	1	1			116	55	4.45	4.00	3.33	2.50	6.00	4.00		

注:表中西表示嘉陵江水系支流西江河;清表示黄土高原清水川支流

表2 辽河平原沙河支流阈值及分级条数

Table2 The thresholds and counts of different levels river segments in the Shahe tributaries of Liaoho plain

阈值	1级	2级	3级	4级	5级	总计条数/条	1级/2级	2级/3级	3级/4级	4级/5级
1000	150	25	8	2	1	186	6.00	3.13	4.00	2.00
1100	144	23	7	2	1	177	6.26	3.29	3.50	2.00
1200	137	23	7	2	1	170	5.96	3.29	3.50	2.00
1300	131	22	7	2	1	163	5.95	3.14	3.50	2.00
1400	126	20	7	2	1	156	6.30	2.86	3.50	2.00
1500	119	19	7	2	1	148	6.26	2.71	3.50	2.00
1600	113	16	6	1		136	7.06	2.67	6.00	
1700	101	15	6	1		123	6.73	2.50	6.00	
1800	96	14	6	1		117	6.86	2.33	6.00	
1900	88	14	6	1		109	6.29	2.33	6.00	
2000	80	20	5	1		106	4.00	4.00	5.00	
2100	75	18	5	1		99	4.17	3.60	5.00	
2200	73	18	5	1		97	4.06	3.60	5.00	
2300	69	17	5	1		92	4.06	3.40	5.00	
2400	67	15	3	1		86	4.47	5.00	3.00	
2500	67	15	3	1		86	4.47	5.00	3.00	

值就越小。由于高原区沟壑多,水系多沿沟壑发展,沟谷密集,相对的集水区面积的阈值就比较小。沙河小流域的降水主要集中在7、8月,蒸发作用强,地表的水流量少,地下水也有限,植被覆盖度低,土壤类型黑土为主,土壤的有机质含量较高,向下侵蚀微弱<sup>[17]</sup>,同

时,最高级别河道的侧向侵蚀一会更加明显,使得阈值较大。

### 3.2 河网形态对比分析

由于地形、地貌、地理条件等多方面的影响,本次研究的三个样区在河网形态上存在一定差异。为了定

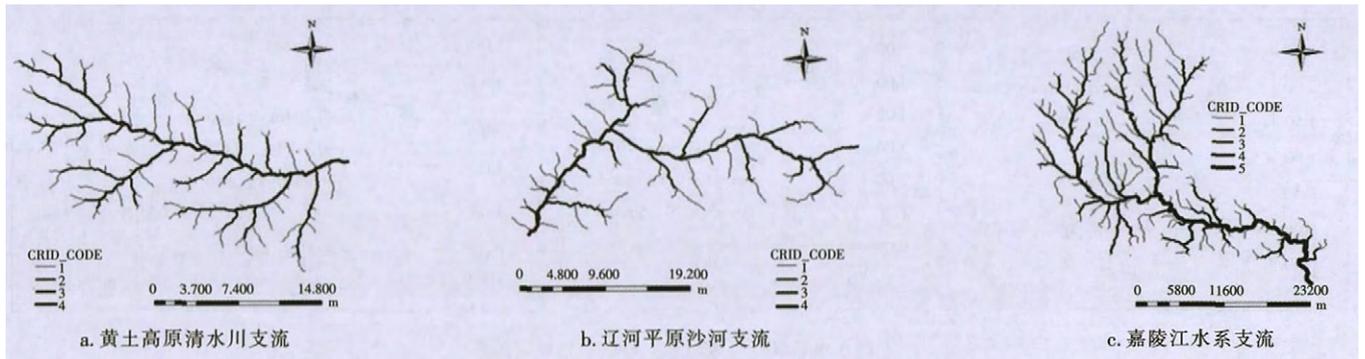


图 2 三个样区河网分级

Fig.2 The stream orders of the three watersheds

量的衡量河网形态结构,本文采用河道分支比、长度比与分形维数对比分析了三个流域的河网形态。K.G. Smith 认为,水道数目的对数在水道级别上的回归线的回归系数  $b$  的反对数就是分支比  $R_b$ <sup>[20]</sup>。河道分支比反映了水道对其低一个等级水道的分支能力。M.E. Morisawa 认为,Horton 第二定律中的长度比  $R_l$ ,就是平均长度与级别的回归线的斜率的反对数<sup>[20]</sup>。长度比反映流域的发育程度,长度比越大河流发育越不完善<sup>[9]</sup>。以表 3 数据为基础,用  $k-\lg N_k, k-\lg L_k$  的线性关系所得斜率绝对值的反对数来表示分支比  $R_b$  和长度比  $R_l$ <sup>[14]</sup>,如图 3;河网的分支比、长度比,如表 4。

表3 河网分级特征统计

Table3 The statistical characteristics of the different order river segments

	水道级别	水道条数	水道长度/m	水道平均长度/m
西江河	1	121	296545.00	2450.79
	2	23	152391.00	4482.09
	3	5	51870.00	7410.00
	4	2	23026.00	11513.00
	5	1	34900.00	34900.00
清水川	1	82	126089.00	1537.67
	2	14	77906.00	3541.18
	3	4	28269.00	7067.25
	4	1	25247.00	25247.00
沙河	1	67	144697.00	2372.08
	2	15	67188.00	4479.20
	3	2	33388.00	16694.00
	4	1	16827.00	16827.00

相关研究认为<sup>[19]</sup>,天然河网的分支比一般在 3~5 之间,水系长度比在 1.5~3<sup>[5]</sup>。从整体上看河网分形分维的理论适用于丘陵、高原、平原地区的研究<sup>[8]</sup>,Horton

定律也适用于丘陵、高原、平原地区的应用。通过对表 3 的河网分级参数进行  $k-\lg N_k, k-\lg L_k$  线性拟合分析,获取了如表 4 的水系 Horton 结构参数表。据表 4 可以看出,尽管三个流域的水道级别数不相同,但是  $R_b$  的范围也同样位于 3~5 之间, $R_l$  位于 1.5~3 之间。此外,通过表 4 还可以看出清水川支流与沙河支流在分支比、长度比上具有相当大程度的相似性, $R_b$  都大于 4, $R_l$  都大于 2;而嘉陵江水系支流与沙河支流在分形维数上具有一致性。

河网分支比越大,河流填充流域的程度越高,水网越密集<sup>[9]</sup>,即清水川支流的水网最密集,辽河小流域次之,嘉陵江水系支流密集性最低。同时,分支比、长度比也受植被、降水、土壤的影响。大型流域河网的长度比和分支比趋于稳定的值,但是小型流域长度比、分支比受环境影响较大<sup>[5]</sup>。清水川属叶状河网形态,叶状河网与枝状相比更加密集;年降水量为 200~800 mm,地表主要覆盖物为黄土、褐土,土壤遇水易崩解,植被覆盖率 10%~40%,易发生水土流失,形成破碎的沟壑,故分支比和长度比最大。沙河流域与西江河为枝状河网形态,外形较为宽大,年降水量为 400~2000 mm,地表覆盖物主要为黑土、黑钙土和红壤等,植被覆盖率大于 40%<sup>[1]</sup>,水土不宜流失,故分支比次之。Horton 比保持相对稳定,自相似性更强<sup>[11, 22, 23]</sup>。

一般而言,不论河道的级别为几级,其分维值都应当是一个稳定的值,即分形具有自相似性<sup>[19]</sup>。本实验河流级别与水道平均长度的半对数满足线性关系,即可采用 Horton 第二定律来计算维数<sup>[18]</sup>。在分支比及长度比关系基础上,由公式 3 经双对数变换,可得嘉陵江水系支流、黄土高原清水川支流、辽河平原沙河支流的分形维数分别为 1.99、1.64、1.99。结合前人研究的分形维数与河网发育的关系<sup>[11-13]</sup>,可知清水川支

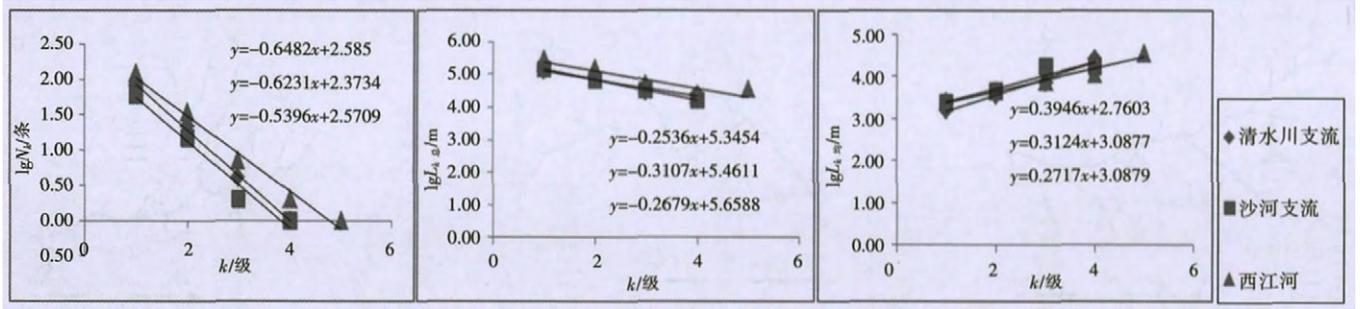


图3 水道级别与数目、总长度、平均长度关系

Fig.3 Relationship between the order and amount, total length and average length of river segments

表4 水系Horton结构参数表  
Table4 The Horton structure parameters

	$w$	$R_b$	$R_l$	$D$
嘉陵江水系支流	5	3.46	1.87	1.99
清水川支流	4	4.45	2.48	1.64
沙河支流	4	4.20	2.05	1.99

流处于发育壮年期,地形非常破碎<sup>[24]</sup>。嘉陵江水系支流与辽河小流域均处于老年期的晚期,河流的下蚀减弱,以堆积为主<sup>[12]</sup>。

### 3.3 地形参数对分支比的影响

分支比表示了水网的密集程度,河网的形成与地形存在一定的关系。DEM不同的分辨率对坡度的影响较大,而对流域的其它特征参数影响较小<sup>[25]</sup>。本实验对三个样区选用3×3,5×5,7×7等窗口进行焦点统计,参照韩海辉提出的阈值确定方法<sup>[26]</sup>,得到西江河、清水川、沙河流域地形起伏度的最佳分析窗口分别为27×27,21×21和13×13。以最佳窗口为基础,得到地形起伏度分别为221、155、223。平均坡度、标准差、地形起伏度与分支比关系如表5。

表5 分支比与地形参数统计

Table5 The statistics of the ramification ratios and terrain parameters

	分支比	平均坡度	坡度标准差	地形起伏度
嘉陵江水系支流	3.46	8.46	5.88	221
沙河支流	4.20	10.37	5.85	223
清水川支流	4.45	8.16	4.30	155

坡度标准差反映了坡度的离散程度,表5显示标准差越小,分支比越大。坡度的离散程度越小,即坡度较缓,使得河流更易向不同的方向发育,分支比增大。地形起伏度越大,平均坡度也越大。通过地形的起伏度可以确定清水川支流所在的区域为丘陵沟壑区<sup>[27]</sup>,清

水川支流的土壤侵蚀,风力侵蚀和水力侵蚀作用严重,沟壑纵横,标准差较小。辽河平原沙河处于铁岭市西丰县,虽在平原地区,但通过地形起伏度计算,属于小起伏山地<sup>[28]</sup>。嘉陵江水系支流水系地形起伏度与平均坡度较大,属小起伏山地,不易向四周发育。这与遥感影像中反映的地形特征相一致。

## 4 结论

在本研究中采用DEM数据,通过水文分析,对嘉陵江水系支流、黄土高原清水川支流、辽河平原沙河支流三个小流域进行研究,结果表明:

(1)西江河、清水川支流和沙河支流的最佳阈值为1400、1200和2400。分支比为3.46、4.45和4.20;长度比为1.87、2.48和2.05;河流分形维数分别为1.99、1.64和1.99。通过对三个样区分支比、长度比和分形维数的综合比较,河网密集程度:黄土高原清水川支流>辽河平原沙河支流>嘉陵江水系支流;水系发育程度:嘉陵江水系支流>辽河平原沙河支流>黄土高原清水川支流。

(2)嘉陵江水系支流西江河、黄土高原清水川支流和辽河平原沙河支流的地形起伏度为221、155、223。三个样区的分支比与坡度的标准差存在线性关系,标准差越小,分支比越大。从坡度标准差来看,西江河>辽河平原沙河支流>黄土高原清水川支流。从分支比来看,黄土高原清水川支流>辽河平原沙河支流>西江河。

(3)实验所用数据为ASTER GDEM数据,其精度有限;同时,不同河网的分支比与长度比之间的变化趋势也是值得探讨的问题。

参考文献:

[1] 刘怀湘,王兆印. 典型河网形态特征与分布[J]. 水利学报, 2007,38(11):1354-1357. (LIU Huaixiang, WANG Zhaoyin. Morphological

- feature and distribution of typical river networks [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(11): 1354-1357. (in Chinese))
- [2] 张丽,戴斌祥,王光谦,等. 基于 Tokunaga 网络的河网形态特征量化[J]. 中国科学(D 辑:地球科学), 2009, 39(10): 1413-1420. (ZHANG Li, DAI Binxiang, WANG Guangqian, et al. The quantization of river network morphology based on the Tokunaga network [J]. Sci China Ser D-Earth Sci, 2009, 39(10): 1413-1420. (in Chinese))
- [3] 原立峰,周启刚. 基于 DEM 的流域水文特征提取方法研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(5): 20-22. (YUAN Lifeng, ZHOU Qigang. Study on DEM based basin hydrological characteristic extraction [J]. Yellow River, 2006, 28(5): 20-22. (in Chinese))
- [4] 王敏婧. 基于 ArcGIS 和 DEM 在水文流域模拟中的应用[J]. 地下水, 2011, 33(4): 159-161. (WANG Minqiang. Application of Arc GIS & DEM on simulation in the hydrogeological drainage area [J]. Ground Water, 2011, 33(4): 159-161. (in Chinese)).
- [5] 刘怀湘,王兆印. 河网形态与环境条件的关系[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(9): 28-32. (LIU Huaixiang, WANG Zhaoyin. Relationship between river network pattern and environmental condition [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2008, 48(9): 28-32. (in Chinese))
- [6] 吕爱锋,陈曦,王纲胜. 基于 DEM 的流域水系分维估算方法探讨[J]. 干旱区地理, 2002, 25(4): 315-320. (LV Aifeng, CHEN Xi, WANG Gangsheng. Study on calculation methods of watershed fractal dimension based on DEM [J]. Arid Land Geography, 2002, 25(4): 315-320. (in Chinese))
- [7] 孙爱立,余钟波,杨传国,等. 我国水系提取阈值影响因素分析[J]. 水利学报, 2013, 44(8): 901-908. (SUN Aili, YU Zhongbo, YANG Chuanguo, et al. Impact factors of contribution area threshold in extracting drainage network for rivers in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(8): 901-908. (in Chinese))
- [8] 艾南山,陈嵘,李后强. 走向分形地貌学[J]. 地理学与国土研究, 1999, 52(1): 93-97. (AI Nanshan, CHEN Rong, LI Houqiang. To the fractal geomorphology [J]. Geography and Territorial Research, 1999, 52(1): 93-97. (in Chinese))
- [9] 龙腾文,赵景波. 基于 DEM 的黄土高原典型流域水系分形特征研究[J]. 地球与环境, 2008, 36(4): 304-308. (LONG Tengwen, ZHAO Jingbo. A study on the fractal properties of a typical drainage basin on the Loess plateau based on DEM [J]. Earth and Environment, 2008, 36(4): 304-308. (in Chinese))
- [10] 张捷,包浩生. 分形理论及其在地貌学中的应用——分形地貌学研究综述及展望[J]. 地理研究, 1994, 13(3): 104-112. (ZHANG Jie, BAO Haosheng. Fractal geomorphology—review and prospect [J]. Geographical Research, 1994, 13(3): 104-112. (in Chinese))
- [11] 何隆华,赵宏. 水系的分形维数及其含义[J]. 地理科学, 1996, 16(2): 124-128. (HE Longhua, ZHAO Hong. The fractal dimension of river networks and its interpretation [J]. Scientia Geographica sinica, 1996, 16(2): 124-128. (in Chinese))
- [12] 梁春玲,梁海清,张祖陆. 祖厉河流域水系分维与地貌发育阶段浅析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 187-191. (LIANG Chunling, LIANG Haiqing, ZHANG Zulu. Fractal dimension of the river networks and developing stage of drainage geomorphic of Zuli River basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(3): 187-191. (in Chinese))
- [13] 李后强,艾南山. 分形地貌学及地貌发育的分形模型[J]. 自然杂志, 1992, 15(7): 516-519. (LI Houqiang, AI Nanshan. Fractal geomorphology and the fractal model of landscape development [J]. Nature, 1992, 15(7): 516-519. (in Chinese))
- [14] 郑畅. 四川盆地坡地径流及其调控[D]. 重庆: 西南大学, 2008. (ZHENG Chang. The Runoff and Its Adjustment on Slope Land of Sichuan Basin [D]. Chongqing: Southwest University, 2008. (in Chinese))
- [15] 马强,杨霄. 明清时期嘉陵江流域水旱灾害时空分布特征[J]. 地理研究, 2013, 32(2): 257-265. (MA Qiang, YANG Xiao. Spatial and temporal distributions of floods and droughts in Jialing river basin in the Ming and Qing dynasties [J]. Geographical Research, 2013, 32(2): 257-265. (in Chinese))
- [16] 金犇,谭红兵,张玉东,等. 黄土高原典型山地-沟壑区地下水水化学特征及成因——以六盘山地区为例[J]. 水文, 2017, 37(2): 89-96. (JIN Ben, TAN Hongbing, ZHANG Yudong, et al. Hydrochemical property and origin of groundwater in hilly-gully areas of Loess plateau [J]. Journal of China Hydrology, 2017, 37(2): 89-96. (in Chinese))
- [17] 马国栋. 下辽河平原环境风险评价及其空间关联格局研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2014. (MA Guodong. Environmental Risk Assessment and Its Spatial Auto-correlation in Lower Reaches of Liaohe River Plain [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2014. (in Chinese))
- [18] 刘涓,郑畅,张卫华,等. 四川盆地丘陵山区局地水系分形分维研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(3): 76-82. (LIU Juan, ZHENG Chang, ZHANG Weihua, et al. On fractals and fractal dimensions of local river systems in hilly area of Sichuan basin [J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2012, 34(3): 76-82. (in Chinese))
- [19] 姜永清,邵明安,李占斌,等. 黄土高原流域水系的 HORTON 级比数和分形特性[J]. 山地学报, 2002, 20(2): 206-211. (JIANG Yongqing, SHAO Mingan, LI Zhanbin, et al. Horton's order ratios of water course network of drainage basin and their fractal characters in the Loess plateau [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(2): 206-211. (in Chinese))
- [20] 承继成,江美球. 流域地貌数学模型[M]. 北京: 科学出版社, 1986. (CHENG Jicheng, JIANG Meiqiu. Mathematical Model of Watershed Geomorphology [M]. Beijing: Science Press, 1986. (in Chinese))
- [21] 李精忠,艾廷华,柯舒. DEM 提取谷地线的有效汇水量阈值范围[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(10): 1244-1247. (LI Jingzhong, AI Tinghua, KE Shu. Effective flow accumulation threshold of extracting valley-line from grid-based digital elevation model [J]. Journal of Wuhan University (Information Science), 2012, 37(10): 1244-1247. (in Chinese))
- [22] 李军锋. 基于 GIS 的陕北黄土高原地貌分形特征研究[D]. 西安: 西北大学, 2006. (LI Junfeng. A Research on Fractal Dimension Characteristics of Gully Based on GIS in the Loess Plateau [D]. Xi'an:

- Northwest University, 2006. (in Chinese))
- [23] 申维. 初论分形地质学 [J]. 世界地质, 1998, 17(4):76-85. (SHEN Wei. A preliminary view on fractal geology [J]. Global Geology, 1998, 17(4):76-85. (in Chinese))
- [24] 李景星. 基于 DEM 的黄土区河网水系特征研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012. (LI Jingxing. DEM-based River Network Characteristics of the Loess Region [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese))
- [25] 冷佩, 宋小宁, 李新辉. 复杂山区小流域径流模拟影响因素分析 [J]. 水文, 2010, 30(6):5-9. (LENG Pei, SONG Xiaoning, LI Xinhui. Analysis of influencing factors in runoff simulation for complicated mountain area [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(6):5-9. (in Chinese))
- [26] 韩海辉, 高婷, 易欢, 等. 基于变点分析法提取地势起伏度—以青藏高原为例 [J]. 地理科学, 2012, 32(1):101-104. (HAN Haihui, GAO Ting, YI Huan, et al. Extraction of relief amplitude based on change point method: a case study on the Tibetan plateau [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(1):101-104. (in Chinese))
- [27] 杜婷. 坡度统计分布随地形复杂程度的变化 [D]. 西安: 西北大学, 2015. (DU Ting. Changes of Slope Statistical Distribution with the Complexity of the Terrain [D]. Xi'an: Northwest University, 2015. (in Chinese))
- [28] 白雷超, 陈珂, 罗明良, 等. 地表高程剖面特征及其在起伏度分析中的应用—以平行岭谷区华蓥市为例 [J]. 遥感信息, 2016, 31(4):1-6. (BAI Leichao, CHEN Ke, LUO Mingliang, et al. Multi scale analysis of elevation profiles and its application in research of relief amplitude of terrain: a case study in Huaying county based on ASTER GDEMs [J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(4):1-6. (in Chinese))

## Research on River Morphology Characteristics in Typical Geomorphologic Areas Based on DEM

LEI Xue<sup>1,2</sup>, LUO Mingliang<sup>2,3</sup>, ZHOU Yi<sup>1</sup>, XU Yali<sup>2,3</sup>, MU Kai<sup>2,3</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710000, China;

2. School of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong 637000, China;

3. Institute of Landform Surface Processes and Environmental Changes, China West Normal University, Nanchong 637000, China)

**Abstract:** Three different kinds of landforms in hilly area of central Sichuan basin, Loess plateau and Liaohe plain were chosen to analyze the difference of stream morphorogy characteristic. Based on digital terrain analysis, this paper selected the rivers of Xijiang, Qingshuichun and Shahe to calculate the different fractal dimensions, land reliefs and mean slopes, and compare the difference of mountain river network configuration. The results show that the stream ramification ratios are 3.46, 4.45, 4.20, and the length ratios are 1.87, 2.48, 2.05 in three areas. The fractal dimension values are 1.99, 1.64 and 1.99. The research confirm that the developmental situation of river reflected by Horton parameters can provide methods for river morphology feature analysis of different geomorphic types.

**Key words:** hydrological analysis; stream order; fractal dimension; Horton law

(上接第 28 页)

- [14] GB/T18185-2014, 河流泥沙测验及颗粒分析仪器基本技术条件[S]. (GB/T 18185-2014, Basic Technical Conditions for Sediment Measurement and Particle Size Analysis Instrument in Open Channel [S]. (in Chinese))
- [15] ASTM D 4448-2001, Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells [S].
- [16] ISO 4375: 2000, Hydrometric Determinations—Cableway Systems for Stream Gauging [S].
- [17] ISO/TS 25377: 2007, Hydrometric Uncertainty Guidance (HUG) [S].

## Analysis of Applied Hydrometric Instruments in China and Abroad

YAO Yongxi

(Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Nanjing 210012, China)

**Abstract:** The International Organization for Standardization (ISO) and World Meteorological Organization (WMO) have published the comprehensive standards of hydrometry and hydrometric instruments for monitoring the hydrological parameters. In China, the hydrometry and hydrometric instruments standards are mainly in line with international standards. By comparison, there are some differences in the requirements for hydrometric instruments at home and abroad. Some differences are reasonable and acceptable. However, there are many differences showing the domestic problems, which should be paid attention, so as for the development of hydrometry.

**Key words:** hydrometric instrument; specification of standards at home and abroad; comparative analysis