

祖厉河流域水系分维与地貌发育阶段浅析

梁春玲<sup>1</sup>, 梁海清<sup>2</sup>, 张祖陆<sup>1</sup>

(1. 山东师范大学人口·资源与环境学院, 济南 250014; 2. 山东大学生命科学学院, 济南 250100)

摘 要: 根据 Horton - strahle 水道序列划分原则, 采用数学模型, 对黄河上游水土流失严重的祖厉河流域进行分析计算, 得出该流域水系分维及其主河道分维, 并确定了其流域发育阶段, 为同类型区的小流域水系分维计算、地貌发育阶段的确定和水土保持工作提供可操作性强的方法。

关键词: 水系; 分维; 分形; 流域地貌; 甘肃省; 祖厉河

中图分类号: P331; P931. 1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409 (2006) 03-0187-02

Fractal Dimension of the River Networks and Developing Stage of Drainage Geomorphologic of Zuli River Basin

LIANG Chun ling<sup>1</sup>, LIANG Hai qing<sup>2</sup>, ZHANG Zu lu<sup>1</sup>

(1. Institute of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. College of Life Science, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract :Zuli River basin where the area was corroded intensively was studied by applying the calulating method. It emphatical-ly calculated the fractal dimension of the river networks on the drainage geomorphologic system. And then ,discussed the developing stage of drainage geomorphologic. It supplys a operable method to calculate the fractal dimension of the river networks and deter-mines developing stage of drainage geomorphologic for other similar areas.

Key words :river networks; fractal dimension; fractal; drainage geomorphologic; Gansu Province; Zuli River

上世纪 80 年代及 90 年代初期,国内外地貌学界对流域地貌系统的地貌特征量间的统计分形进行了研究<sup>[1,2]</sup>,这些研究深化了 Horton 等以物理学方法对水系的形成及演变的过程分析。90 年代中期,在对河道线状分形及河道平面形态分形研究基础上,有的学者开始对水系的河网分形进行研究,并初步探讨了水系分形特征与流域地貌发育过程的关系<sup>[3,4]</sup>。一般认为,水系分维反映了河道分布的复杂程度或者说水系的发育程度,在分析中尽可能将一个水系分形划分成若干个小分子集(有限个),通过水系分形子集的水系分维来了解水系内河道分布的不均匀性及水系发育特征<sup>[5]</sup>。

流域侵蚀地貌是一种极为复杂的地貌单元,根据分形理论,建立一定的数学模型,通过计算水系分维来描述流域地貌形态,以揭示流域地貌形态特征,预测流域地貌发育演化趋势。对祖厉河流域地貌进行的这种数理分析,有助于进一步了解小流域水土流失发生发展规律,为小流域治理提供必要的数据资料和设计参数,对流域水土保持工作具有重要意义。

1 流域概况

祖厉河发源于甘肃省通渭县华家岭北坡,于靖远县西闸门注入黄河,系直接汇入黄河的一条支流。流域面积 10 696.8 km<sup>2</sup>,流域长 222.6 km,干流长 221.8 km,海拔在 1 400~2 300 m。流域内以黄土梁状地貌类型的丘陵沟壑为主,中下游地区间有黄土塬和残塬分布。受径流的作用,地表冲刷切割强烈,呈现出千沟万壑、支离破碎的景观,前人

研究表明年侵蚀模数达 5 270 t/km<sup>2</sup>,在黄河上游地区流域面积大于 1.0 ×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 的 6 条入黄支流中,其年均入黄水量占 1.46%,但年均入黄泥沙量却占 39.58%,是黄河上游水少沙多、水土流失严重的河流<sup>[6]</sup>。祖厉河流域各级水道主要地貌特征值见表 1。

表 1 祖厉河流域各级水道主要地貌特征值<sup>[6]</sup>

水道级别	水道数目/条	各级水道总长度/km	水道平均长度/km	各级流域总长度/km	各级流域总面积/km <sup>2</sup>
1	1606	4032.2	2.5	5669.4	6279.7
2	298	2371.0	8.0	2719.4	6227.0
3	69	1270.6	18.4	1386.1	6706.9
4	17	634.7	37.3	656.6	6562.7
5	3	263.8	87.9	267.6	8815.8
6	1	221.8	221.8	222.6	10696.8

2 水系分维计算模型

设  $s$  表示水系的最高级别,  $i$  表示河道级别 ( $i = 1$ ),  $N_i$  为第  $i$  级水道条数,级别为  $i$  的河道平均长度为  $L_i$ ,仅次一级河道的平均长度为  $L_{i-1}$ ,则:

各级河道的平均长度比为:

$$R_i = \frac{L_i}{L_{i-1}} \tag{1}$$

河道系统平均长度比  $R_L$  则根据各级河道的数目进行

收稿日期: 2005-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471122) 莱州湾南岸滨海平原咸水入侵驱动下土地覆被变化及机制研究

作者简介: 梁春玲 (1982 - ), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 研究方向为环境演变与灾害。

加权平均;河道数目  $N_i$  的对数在河道级别上的回归系数  $b$  的反对数等于分枝比<sup>[7]</sup>,即河道系统的平均分枝比为:

$$R_b = \log^{-1} b \quad (2)$$

Feder<sup>[8]</sup> 导出了一个用霍顿 (Horton) 定律表示的主河道分维公式:

$$D = 2 \ln R_L / \ln R_b \quad (3)$$

分形学者早就注意到了水系的分形特征,水系的分枝图形,主流中有支流,支流又有各自的次级支流。大型水系是一种多重分形 (Multi - Fractal),它的子流域是分形,子流域有各自局部范围的分维,大型水系若只用一个分维来表示显然是不合适的,用诸多子流域的多个分维数来划分会更恰当<sup>[9]</sup>。我们根据李后强、艾南山从哈克模型导出的水系分维与水系级别关系的公式,计算流域水系分维<sup>[10]</sup>:

$$D_s = \frac{2(s-i)}{i} \times \frac{\ln(L_i/L_0)}{\ln N_i} \quad (4)$$

式中: $L_0$ ——最低级别河道的平均长度。

励强<sup>[11]</sup>等曾求得黄土高原侵蚀积分  $P$  与河网密度  $d_s$  的关系为:

$$P = 0.194 d_s^{0.697} \quad (5)$$

式中: $d_s = L/A$ ,  $L$ ——流域长度,  $A$ ——流域面积。并确定了黄土高原丘陵沟壑区流域发育阶段划分方法:侵蚀早期的侵蚀积分  $0 < P < 0.30$ , 侵蚀中期的侵蚀积分  $0.30 < P < 0.70$ , 侵蚀晚期的侵蚀积分  $0.70 < P < 1.00$ 。

### 3 计算结果及分析

我们利用 SPSS 软件计算出祖厉河河道系统平均长度  $R_L = 2.068s$ , 河道数目  $N_i$  的对数在河道级别上的回归系数  $b = 0.647$ , 由图 1 可看出回归线与实际统计值的连线几乎重叠,因此可将该回归系数  $b$  代入式 (2) 得河道的平均分枝比  $R_b = 5.288$ , 将  $R_L$ 、 $R_b$  代入公式 (3) 即得主河道的分维数  $D = 0.872$ ; 根据公式 (4) 分别计算出各级水系的分维  $D_{s1} = 0$ 、 $D_{s2} = 0.817$ 、 $D_{s3} = 0.943$ 、 $D_{s4} = 0.954$ 、 $D_{s5} = 1.296$ , 水系分维的平均值为  $D_s = 0.802$ ; 再根据公式 (5) 计算出流域的侵蚀积分为  $P = 0.197$ 。

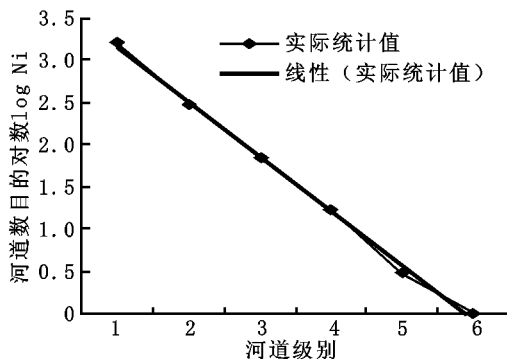


图 1 祖厉河河道数目的回归线

在此我们可以认为水系分维的含义是:水系的分维反映

### 参考文献:

- [1] Andre Robert, Andre G Roy. On the fractal interpretation of the mainstream length - drainage area relationship. Water Resources Research, 1990, 26(5): 839 - 842.
- [2] Renzo Rosso, Baldassare Bacchi, Paolo La Barbera. Fractal relation of mainstream length to catchment area in river networks[J]. Water Resources Research, 1991, 27(3): 381 - 387.
- [3] Sean P Breyer, R Scott Snow. Drainage basin perimeters: a fractal significance. In: R S Snow, L Mayer, special issue on "Fractal in Geomorphology[J]. Geomorphology, 1992, 5: 143 - 157.
- [4] 张捷, 包浩生. 分形理论及其在地貌学中的应用[J]. 地理研究, 1994, 13(3): 104 - 111.

了水系所处流域地貌侵蚀发育程度,水系分维的差异反映的是流域地貌发育程度的差异。据此,李后强、何隆华的研究按照如下条件来划分流域地貌侵蚀发育阶段<sup>[12]</sup>:

(1) 当水系分维  $D_s < 1.6$  时,流域地貌处于侵蚀发育阶段的幼年期。此时,水系尚未充分发育,河网密度小,地面比较完整,河流深切侵蚀剧烈,河谷呈 V 形。分维值越趋近 1.6,流域地貌越趋于幼年晚期,河流下蚀作用逐渐减弱,旁蚀作用加强,地面分割得越来越破碎。谷坡的分水岭变成了锋锐的岭脊。此时地势起伏最大,地面最为破碎、崎岖,地貌发展到  $D_s = 1.6$  这个时期,标志着幼年期的结果,壮年期的开始。

(2) 一个地势起伏大、地面切割得支离破碎、崎岖不平的山地地貌,在河流的侧蚀、重力作用和坡面冲刷下,尖锐的分水岭山脊不断蚀低,谷坡变得缓平,山脊变得浑圆,地面由原来的峭峰深谷,变成低丘宽谷。处于流域地貌壮年期的水系分维值  $1.6 < D_s < 1.89$ 。

(3) 当  $1.89 < D_s < 2.0$  时,流域地貌处于侵蚀发育阶段的老年期。河流作用主要为旁蚀和堆积,下蚀作用已很微弱,地势起伏微缓,形成宽广的谷底平原。

由以上计算,祖厉河主河道的分维数  $D = 0.872$ , 水系各级分维系数在  $0.817 \sim 1.296$ , 其平均值  $D_s$  为  $0.802$ , 按照上述划分方法分析,根据祖厉河河流深切侵蚀剧烈的发育状况,可以大致判断祖厉河流域的地貌发育阶段当处于幼年期的中间阶段。显然,大型水系仅依据主河道分维数来表征流域地貌发育的阶段是不合适的,用诸多子流域的多个分维数来划分会更恰当,计算出的祖厉河主河道的分维数  $D = 0.872$  与水系分维的平均值  $D_s = 0.802$  比较接近,说明流域处于地貌发育幼年期的结论是可信的。

祖厉河流域正是黄土高原的一部分,因此适于用公式 (5) 的计算,流域的侵蚀积分  $P = 0.197$ 。根据前述励强侵蚀积分的划分方法,也可以确定流域地貌发育尚处于侵蚀早期阶段,为幼年期。这与按照水系分维及主河道分维计算结果的分析所得结论相同,进一步证明了水系分维公式 (4) 及祖厉河流域处于地貌发育阶段幼年期的结论是可靠的。

### 4 结 论

(1) 根据 Feder 导出的主河道分维公式,计算得出祖厉河主河道的分维  $D = 0.872$ ; 根据李后强、艾南山导出的水系分维与水系级别关系的公式,计算出祖厉河流域水系分维  $D_s = 0.802$ ; 根据励强的黄土高原侵蚀积分  $P$  与河网密度的关系式求得流域的侵蚀模数  $P = 0.197$ 。

(2) 依据前人研究结论,结合本次计算结果,分析确定了祖厉河流域地貌发育阶段目前还处于幼年期,并开始向幼年晚期发展。所以,河流深切侵蚀剧烈,地表冲刷切割强烈,呈现出千沟万壑、支离破碎的景观。

(3) 祖厉河流域当前侵蚀强烈、水土流失严重是地貌自然演化过程中的必然阶段,这一过程中自然规律占支配地位,人类活动的影响不是主导因素。

流失,汛期大量弃水甚至会造成洪涝灾害,危害下游。

#### 2.4 水体污染逐渐加重

由于岷江上游特殊的地理位置,使其成为阿坝州工业发展的核心地区。现有水电、制革、造纸、化工、冶炼、机械、水泥、食品等行业。该区面积只有全州面积的 27.7%,人口为全州的 45.9%,2002 年国内生产总值却占全州国内生产总值的 54.3%,工业产值则占到全州工业产值的 90.0%<sup>[1]</sup>。其中汶川县境内的七盘沟工业区和漩口工业区近 70 km 的河段内,集中了阿坝州 80% 的工业企业,年排放工业废水 650 万 t,工业废气 10 亿 m<sup>3</sup>,工业废渣 50 万 t,汶川县威州以下岷江两岸为污染集中区<sup>[11]</sup>。这和四川省水环境监测中心监测结果一致,近三年岷江上游水质达到 Ⅲ 类及劣 Ⅲ 类的两次均在威州断面。岷江上游的这些工业企业大多沿江而建,缺少污染治理,工业三废直接排入江中,很容易造成岷江水质的恶化。

### 3 岷江上游水资源可持续利用对策

#### 3.1 保护天然植被,实行退耕还林(草)工程,重建岷江上游生态屏障

岷江上游森林植被多属防护林、水源涵养林和水土保持林,由于森林砍伐破坏,使得岷江上游森林涵养水源保持水土的能力下降。因此,必须坚决禁止砍伐天然林,实行天然林保护工程。在保护好天然林的同时,还应该坚决做好退耕还林(草)工程。岷江上游耕地总面积 52 887.49 hm<sup>2</sup>,其中 >25° 的坡耕地面积就有 11 047.87 hm<sup>2</sup>,占该区耕地总面积的 21.43%。对于 >25° 的坡耕地实施退耕还林(草)工程刻不容缓。另外,可以针对该流域内不同海拔高度和不同生态环境,分别在干旱河谷、冷湿半山、寒温带亚高山等地区建设不同林型的多层次水源涵养林体系,增加森林覆盖率,形成成都平原和四川盆地的生态屏障。

#### 参考文献:

- [1] 四川省统计局.四川统计年鉴 2003[M].北京:中国统计出版社,2003.
- [2] 李洪,由丽华.树立科学发展观 合理开发岷江水资源[J].四川水力发电,2004,23(2):1-3.
- [3] 汪明忠,高瑞虎,马建明,等.岷江金马河堤防管理信息系统[J].中国水利,2002,(2):31-32.
- [4] 岷江上游以水资源为主的国土综合开发研究课题组.岷江上游以水资源为主的国土综合开发(研究报告)[R].成都:四川省科学技术学会,四川省国土局,1988.5-7.
- [5] 吴敏良.岷江上游森林过伐与都江堰水源减少问题浅叙[J].四川水利,1997,(1):51-52.
- [6] 张荣祖.横断山区干旱河谷[M].北京:科学出版社,1992.6-12.
- [7] 郭永明,汤宗祥.岷江上游水土流失及其防治[J].山地研究,1995,13(4):267-272.
- [8] 张建平,樊宏,叶延琼.岷江上游土壤侵蚀及其防治对策[J].水土保持学报,2002,16(5):19-22.
- [9] 刘宇.关于都江堰灌区水资源及灌面的思考[J].四川水利,2000,21(2):27-29.
- [10] 李晓峰,刘光中.成都市水资源现状和可持续利用对策[J].四川水利,2002,(2):16-18.
- [11] 鲁晓阳.岷江上游生态环境治理对策探讨[J].四川环境,1999,18(1):72-74.

(上接第 188 页)

- [5] 冯金良,张稳.海滦河流域水系分形[J].泥沙研究,1999,(2):62-65.
- [6] 张丽萍.祖厉河流域侵蚀地貌的数理分析[J].中国水土保持,2004(3):12-15.
- [7] 承继成,江美球.流域地貌数学模型[M].北京:科学出版社,1986.12-38.
- [8] Ferder J. Fractals[M]. New York:Plenum Press,1988.
- [9] 王协康,方铎.流域地貌系统定量研究的新指标[J].山地研究,1998,16(1):8-12.
- [10] 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,1991,15(7):516-519.
- [11] 励强,陆中臣等.地貌发育阶段的定量研究[J].地理学报,1990,45(1):110-119.
- [12] 何隆华,赵宏.水系的分形维数及其意义[J].地理科学,1996,16(2):124-128.

#### 3.2 建造大型蓄水工程

在岷江上游建造大型蓄水工程可以有效调节岷江上游来水年内分配不均的问题,增加枯水期供水量,确保都江堰灌区扩大所需用水,为更有效持续地利用岷江水资源提供保证,同时可以拦蓄洪水,对岷江上游的洪水灾害起到巨大的调节控制作用。正在建设中的紫坪铺水库恰恰能够满足这一条件。紫坪铺水库工程最大坝高 156 m,库容 11.12 亿 m<sup>3</sup>,电站装机容量 760 MW,是一座以灌溉和城市供水为主,兼有发电、防洪、环境供水及旅游、水产等功能的大型水利工程。该工程建成后,可新增灌溉面积 9.74 万 hm<sup>2</sup>、改善灌面 8.97 万 hm<sup>2</sup>;对成都市净增供水 7.48 亿 m<sup>3</sup>,并在枯期为成都市的环境用水提供 (20 m<sup>3</sup>/s) 3.64 亿 t 的水量,使府南河流量从 4.6 m<sup>3</sup>/s 增至 24.6 m<sup>3</sup>/s,大大改善市区府南河枯期的污染和脱水现状。该工程建成后,下游防洪标准将由 10 年一遇提高到 100 年一遇,可减轻岷江洪水对成都市的威胁。

#### 3.3 节约用水,提高水资源利用率

应该大力推广科学的节水技术,对于都江堰灌区需要衬砌防渗的渠道进行改造,减少水资源的流失,同时推广和应用各种行之有效的节水灌溉技术和农耕农艺措施,如微灌、喷灌、滴灌和旱育秧、抛秧等。在工业中,应积极采用先进工艺和技术,降低耗水量,降低污染量,提高水的重复利用率。

#### 3.4 严格控制工农业污染

对岷江上游水量、水质状况、污染物的排放状况及其污染规律进行综合调查研究,根据研究成果制定合理的总体控制方案。通过立法,严格执行总量控制。对上游的工业发展应采取慎重的态度,以开发生态旅游及经济林木为主,同时开发水电资源,发展绿色经济。严格执行“三同时”的管理制度。岷江上游的工业,要向低耗水、少排放、无污染的方向发展;大力推广循环用水、重复利用、一水多用,以提高水资源利用率。大力开发废弃物综合利用技术,减轻环境污染。