

贵州省河流水文泥沙的时空变化特征^{*}

张卫香¹, 张科利¹, 熊亚兰¹, 杨光徽², 张兴奇³

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 贵州省水土保持监测站, 贵阳 550002; 3. 南京大学 国土资源与旅游学系, 南京 210093)

摘 要: 河流泥沙是流域水土流失与河流水文特征共同作用的结果, 河流泥沙的空间分布格局和时间变化规律, 可以反映水土流失时空特征及其变化过程。利用贵州省 1956 - 2000 年水文泥沙资料, 分析研究了河流输沙模数的时空变化特征。结果表明: 贵州省河流泥沙分布格局和时间动态变化, 基本上与植被时空格局变化特征及人类活动的影响过程相吻合; 河流输沙模数呈西高东低的分布格局, 在时间上呈周期性变化, 基本上逢 3 ~ 4 a 就出现一个极端值, 形成波峰或波谷。1965 年之前的时间段内, 输沙模数较小值年份出现的频率高, 1965 年以后则是输沙模数较大值年份出现的频率则高。1966 - 1967 年枯水和低输沙量、1971 - 1972 年的平水和高输沙量现象的出现, 对进一步研究分析贵州省径流泥沙关系和水土流失演变过程具有重要的指示意义。

关键词: 贵州省; 水文泥沙; 土壤侵蚀

中图分类号: P331

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0001-05

Temporal-spatial Distribution of Hydrology and Sediment in Guizhou Rivers

ZHANG Wei-xiang¹, ZHANG Ke-li¹, XIONG Ya-lan¹, YANG Guang-xi², ZHANG Xing-qi³

(1. State Key Laboratory of Surface Process and Resource Ecology, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Soil and Water Conservation Monitoring Station, Guiyang 550002, China; 3. Department of Land Resources and Tourism Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The river sediment results from the reaction between soil erosion and hydrological characteristics. Its spatial distribution pattern and time change regulation can reflect temporal and spatial progress of the watershed soil erosion. This article use the data of hydrology and sediment in Guizhou province to analyze sediment transport modulus. The results show that the river sediment distribution pattern and time change are almost consistent with vegetation variation characteristics and human activities. The sediment transport modulus distribution shows a tendency of higher in the west and lower in the east, and appears a periodic change per 3 or 4 years in basically. Before 1965, the smaller modulus value often occurs, but the situation was opposite after that year. There are significant for further analysis and research on the relationship between runoff and sediment and soil erosion evolution process by the case of lower water and transport sediment amount in 1966, 1967 and normal flow and higher transport sediment in 1971, 1972.

Key words: Guizhou province; hydrology and sediment; soil erosion

贵州省地处世界三大喀斯特集中分布区之一的东亚片区中心, 受喀斯特环境特征的制约, 加之强烈的人类活动干扰, 水土流失、石漠化和有效水资源短缺等环境问题十分突出^[1-2]。保持土壤资源和提高水资源利用效率已经成为贵州省改善生态环境和促进经济发展的关键所在, 而摸清水土流失现状, 掌握其动态变化特征又是有效治理水土流失的前提和基础。由于国家水土保持战略及科研力量分布等原因, 我国西南地区土壤侵蚀研究基础相对较为薄弱。就贵州省而言, 除了用遥感手段进行过石漠化、水土流失现状调查外^[1, 3-4], 真正意义上针对水土流失量所开展的区域研究十分

匮乏。虽然近年来国家对石漠化问题关注程度增加, 促进了水土流失监测工作的开展, 但目前仍没有足够的观测资料支持区域水土流失评价工作。为此, 运用河流泥沙资料就成为开展区域水土流失分异特征研究的重要途径。

河流泥沙及其输移规律受地质地貌、气候、地表物质组成以及人类活动等多种因素的影响^[5-6]。虽然受泥沙输移比决定, 河流输沙量不能完全反映区域水土流失量, 但输沙量与来沙量之间的正比关系属普遍规律^[7-10]。尽管河流输沙量不能反映水土流失的绝对量, 但河流泥沙空间变化及时间动态可以反映水土流失的区域分异特征及其演变过程。同

^{*} 收稿日期: 2008-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40671112); 贵州省水土保持监测站科研项目资助

作者简介: 张卫香 (1982 -), 女, 陕西省吴旗县人, 硕士, 主要从事水土资源利用与保护方面的研究。E-mail: zwx516@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 张科利 (1962 -), 男, 陕西省宝鸡市人, 教授, 博士, 主要从事土壤与水土保持方面的研究工作。E-mail: keli@bnu.edu.cn

时,也可为区域水资源的有效利用和洪水预报提供理论依据。长期以来,已有许多学者利用水文观测资料,对我国不同地区的河流水文泥沙特征进行过系统研究,这些成果对水土流失分区评价和区域环境变化研究提供了重要依据^[11-15],但在贵州省类似系统的水文泥沙区域特征研究尚无报道。利用 1956 - 2000 年贵州省境内水文站河流泥沙观测资料,研究了贵州省河流输沙的区域差异及时间动态变化,结果可为水土流失区域的变化特征研究和水土保持规划提供依据,同时,对贵州省水资源的合理利用以及洪水预报工作也有指导意义。

1 资料与方法

1.1 资料的收集

贵州省大部分地区为长江流域的乌江水系和珠江流域的红水河水系所控制,境内河流纵横,水文测站广布。本文所用资料涉及到贵州省大小江河 25 条,先后共有水文站 60 个,考虑到资料系列长短及区域分布特征,选择其中 40 个作为有效水文观测站点。1979 年以前水文泥沙数据采自水文泥沙手册,原始资料为逐月平均输沙模数及输沙量;1980 - 2000 年资料来源于贵州省水利厅,资料类型为多年平均输沙模数与输沙量。

选择时间序列长,区位相对较分散(分布于乌江各段)的 4 个站点鸭池河站(106.08°E, 26.77°N)、乌江渡站(106.80°E, 27.30°N)、江界河站(107.50°E, 27.23°N)、思南站(108.38°E, 27.90°N),详细分析水沙的年际变化特征。

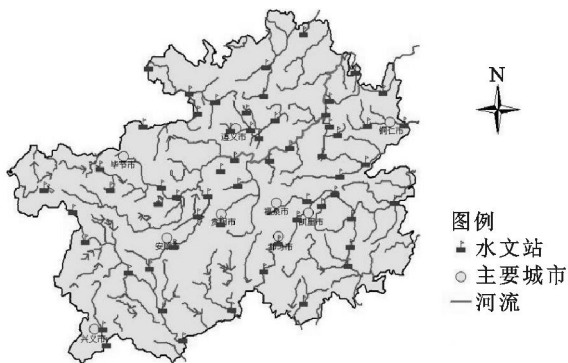


图 1 贵州省水文站点分布图

1.2 数据处理

利用 1956 - 2000 年所有站点数据计算全系列平均输沙模数,将数值导入 surfer 7.0 进行 Kriging 空间插值,生成贵州省多年平均输沙模数等值线图。同时,对资料进行适当的分割,以 10 a 为时间单元分别计算 1959 年之前、1960 - 1969 年、1970 - 1979 年以及 1980 - 2000 年 4 个阶段各站点的输沙模数,再分别进行插值生成各时段对应的输沙模数等值线图。由于水文站点存在有迁移、取消或者新设问题,站点数在各时段内略有变化,为了更大程度地提高插值精度,保证科学性,在计算各时段输沙模数时采用该时段实际站点数,4 个阶段站点分别是 18, 31, 30, 24 个。用数理软件 origin 7.0 对鸭池河站、乌江渡站、江界河站及思南站的输沙模数与径流量关系进行统计分析。

2 结果分析

2.1 输沙模数的空间分异特征

利用 1956 - 2000 年有效水文站点资料,生成的贵州省多年平均输沙模数等值线图如图 2 所示。表明空间差异比较大,六盘水市盘县及附近区域的输沙模数高达 1405 t/(km²·a),而黔东南苗族侗族自治州镇远及其附近地区只有 58.3 t/(km²·a),最大值和最小值之间相差近 25 倍。总体而言,以贵阳和遵义两城市作为南北分界线,位于该线以西县市的输沙模数明显高于东部地区。且西部输沙模数等值线密度大,表明突变剧烈,区内变差较大。而东部地区输沙模数基本上在 200 t/(km²·a) 上下,只有锦江、清水江部分地段的输沙模数超过 300 t/(km²·a)。同时,相对于西部地区而言,东部地区输沙模数不仅量少,且输沙模数等值线变化相对平缓,说明输沙模数在东部地区变化不大。

进一步分析贵州省输沙模数等值线走势可以发现,在遵义 - 贵阳以西地区,输沙模数等值线基本沿经线方向平行分布,自西向东迅速减小。越过安顺 500 t/(km²·a) 一线后,数值继续降低,强度趋于缓和。再到遵义 - 贵阳线以东时,输沙模数等值线则演变为自西向东略有增加的趋势,但增加幅度很小。贵州省输沙模数等值线图变化趋势在 500 t/(km²·a) 线两侧出现两种不同的走势,为了方便分析区域输沙模数的变化,把 500 t/(km²·a) 线设定为对比特征线。在多年平均输沙模数分布图中,这条曲线基本变化于东经 105.6 ~ 106.3 范围内,在鸭池河和北盘江流域分界处发生较大转折。

贵州省河流多发源于中西部,向北、东、南三面分流,呈扫帚状水系,地势自西向东渐低,南北两边急剧降入广西和四川盆地。地形切割破碎,强烈的地形变化导致了中西部河流广布、水流湍急,河流冲刷和携沙能力都相应较大。另外,贵州东部、东南部地区植被覆盖度高,垦殖率低,水土流失轻微,坡面注入河流的泥沙少。而西部地区的毕节和六盘水地区,植被破坏严重,耕地面积,特别是大于 25° 的陡坡耕地所占比例较高,为贵州省水土流失严重区,河流输沙模数也必然居高。

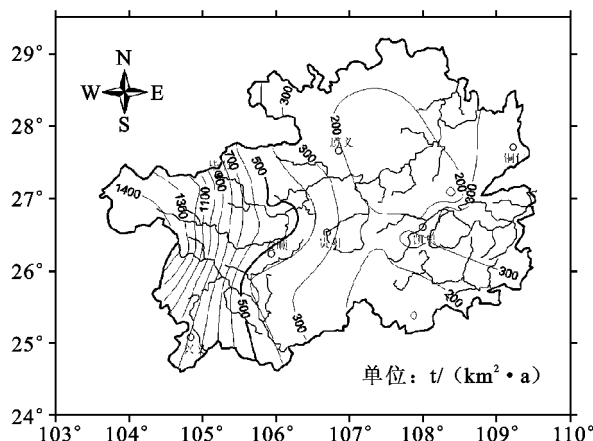


图 2 贵州省 1956 - 2000 年平均输沙模数等值线图

2.2 输沙模数空间分异特征的动态变化

为了探讨近 50 a 来贵州省水土流失演变过程,以及评价水土保持成效,仅仅靠分析多年平均输沙模数及其空间变

化还不够,还需要进一步研究贵州省河流输沙量及其空间差异随时间的动态变化规律。为此,以10 a为时间段,将收集到的贵州省水文站资料划分为1950-1959年、1960-1969年、1970-1979年及1980-2000年4个时段,分别计算各水文站在每个时间段内的平均输沙模数,再按时间段绘制贵州省河流输沙模数分布图(图3)。从20世纪50年代到2000年期间,虽然贵州省输沙模数西高东低的空间分布格局基本保持不变,东部侵蚀轻微区黔东南苗族侗族自治州东南部及黔南布依族苗族自治州输沙模数比较稳定,基本维持在 $100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 左右;但输沙模数最高和最低值以及高低值分布区范围有显著变化。20世纪50年代,贵州省输沙模数普遍较低,最高值只有 $800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。而且,输沙模数大于

$500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的区域较小,主要集中在毕节以西。进入60年代,虽然输沙模数最大值保持不变,但大于 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的区域扩大,赤水河流域输沙模数增加显著。到70年代以后,输沙模数大于 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的区域虽然没有进一步扩大,但最大值增加到了 $1200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,说明这一时期贵州省侵蚀严重区水土流失进一步加剧。1980-2000年期间,贵州省侵蚀严重的西部地区,输沙模数超过 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的区域显著较少,基本上回落到50年代状况。但输沙模数的最大值显著增大,达到 $1500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,比50年代增加了近一倍。东部侵蚀轻微区输沙模数略有升高,而贵州中部地区逐渐输沙模数最低,低值中心迁移至遵义附近,且数值减小到不足 $100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

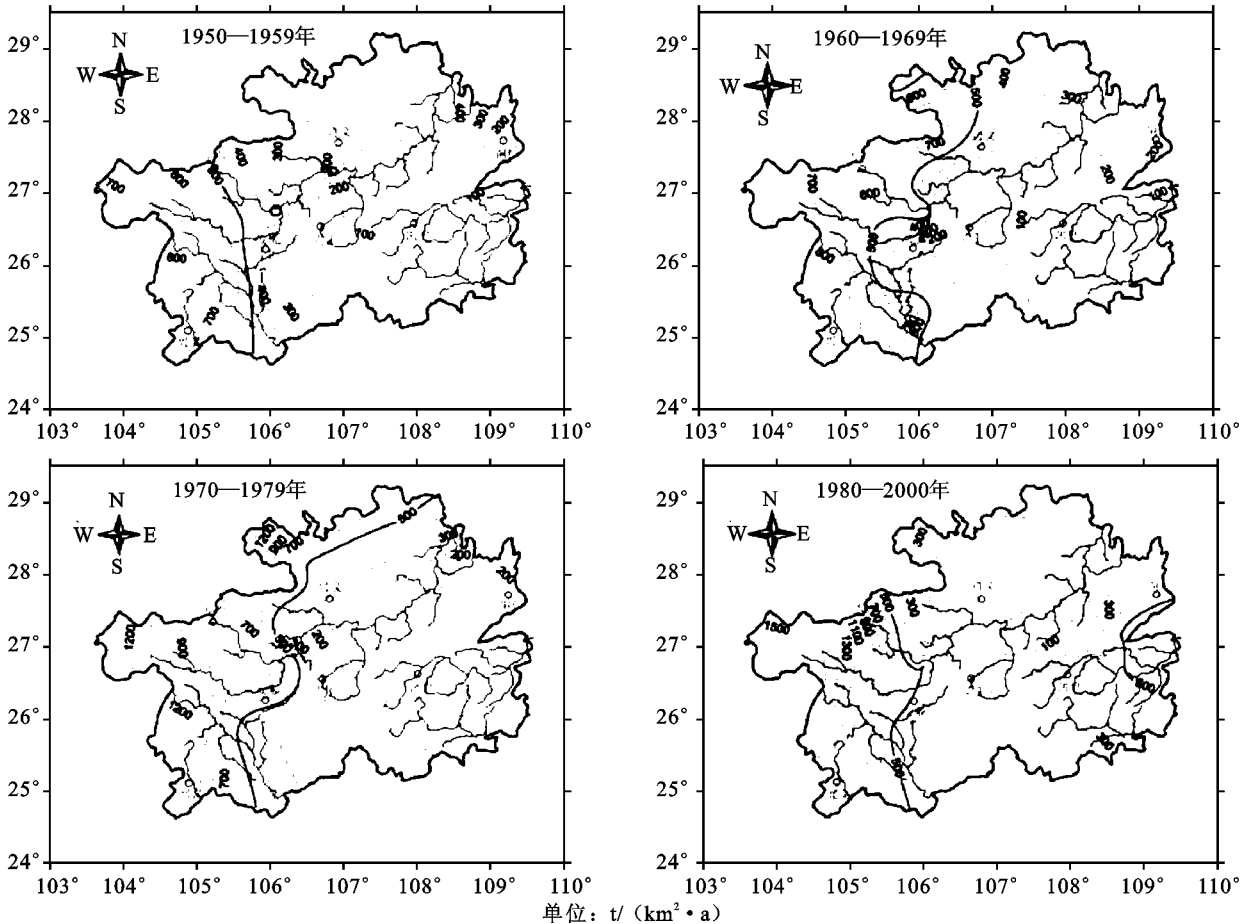


图3 贵州省不同时段输沙模数等值线空间分异

2.3 不同站点水沙变化趋势

贵州省河流输沙模数区域分异明显,在不同区域内又有不同的时间动态特征。为了更进一步探讨河流泥沙运移特征,依据输沙模数区域特征及资料序列长短,选择鸭池河站、乌江渡站、江界河站和思南站分别分析径流和泥沙的变化过程。4测站都位于长江支流——乌江流域,控制面积依次为 $18\,187 \text{ km}^2$ 、 $27\,838 \text{ km}^2$ 、 $42\,306 \text{ km}^2$ 及 $51\,270 \text{ km}^2$ 。4站点1950-1979年30 a间水沙动态变化如图4所示。乌江流域不同站点水沙关系的共同特征是从20世纪50年代以来,径流量基本保持不变或略呈减少趋势,但泥沙量在不断增加。径流泥沙之间的耦合关系总体上十分明显,径流量大的丰水年间泥沙量相应也大,径流量较小的年份,输沙模数也相应

较小。1965年以前的时段内,水沙关系表现为大水小沙。1965年之后的后半段,水沙关系则表现为小水大沙。另外,乌江流域的径流量与输沙模数的年际变化很大,但都有明显的周期性规律,基本上逢3~4 a就出现一个极端值,形成波峰或波谷。以1965年为界,之前的15 a间,出现输沙模数较小年份的频率高,之后的15 a间,出现输沙模数较大年份的频率则高。分析径流或泥沙的极端值年份可以发现,1966-1967年枯水和低输沙、1971-1972年的平水和高输沙对研究贵州省水土流失演变过程具有重要的指示意义。如果以10 a为时间段计算平均值(由于资料原因,1980-2000年为21 a),上述4站的径流量和输沙量变化表明(表1),乌江流域不同河段输沙量变化趋势也不尽相同。在鸭池河水文站

以上河段,1950 - 1980 年间输沙量持续增大,径流含沙量增加了近 1.6 倍,之后的 20 a 间,径流量和泥沙又都显著减少到比 50 年代还低的水平。乌江渡水文站以上河段 1950 - 2000 年间径流和泥沙变化则呈先减少再增大,1980 年后再变小的过程。江界河和思南水文站的径流和输沙量在 1950 - 1980 年间变化不大,1980 年后输沙量都显著减小,泥沙减

少量分别达 82 %和 78 %。乌江渡以上河段,河流含沙量高,以下河段的含沙量减少了 50 %左右。河流含沙量高低,一方面反映了降水及水土流失的变化,另一方面也在很大程度上受干流水流枢纽工程的影响。在分析含沙量变化与区域水土流失关系时,需要全面深入地考虑干流水电工程的建设和发展过程。

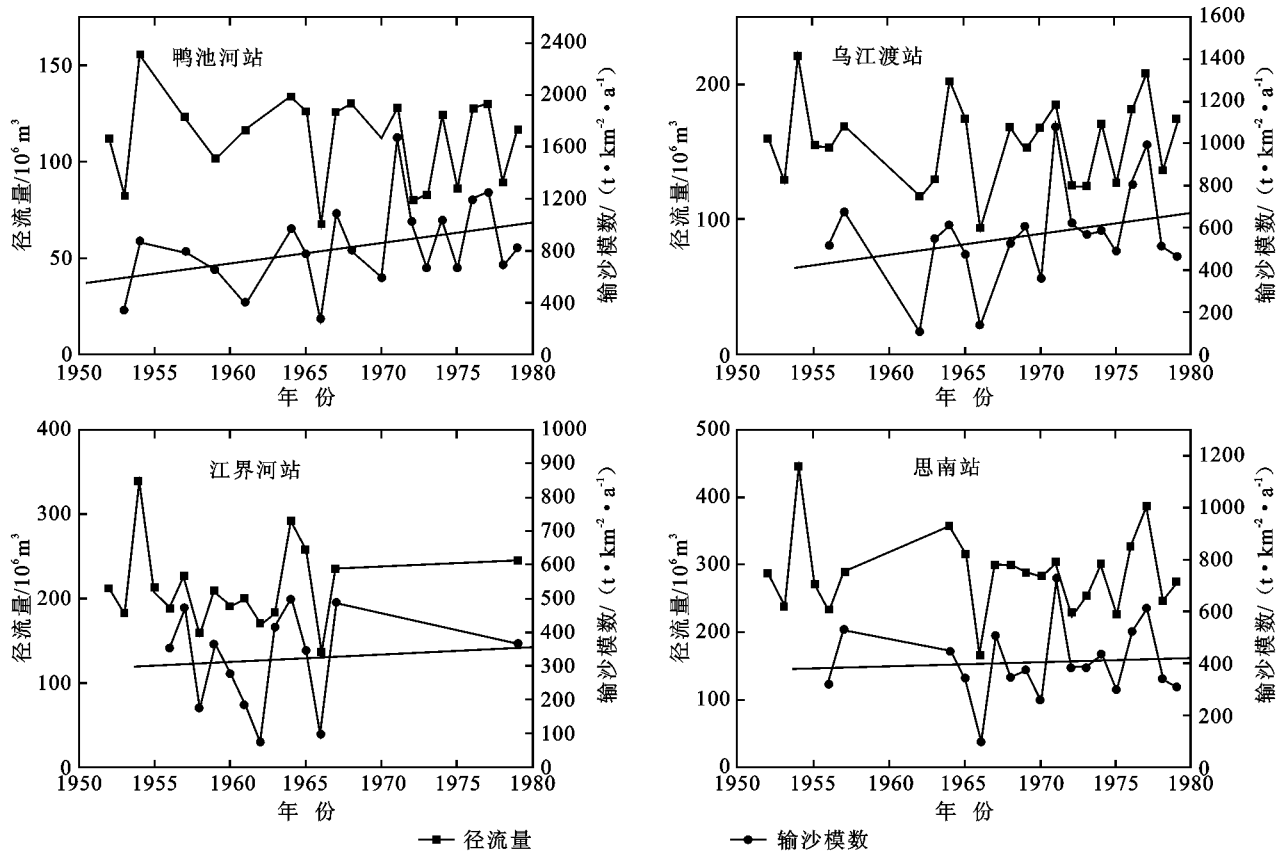


图 4 不同站点径流量与输沙模数关系比较

表 1 四站点多年平均泥沙特征值比较

| . 鸭池河水文站 | | | | . 乌江渡水文站 | | | |
|-------------|----------------------|---------|---------------------------|-------------|----------------------|---------|---------------------------|
| 时段 | 径流量/亿 m ³ | 输沙量/万 t | 含沙量/(kg·m ⁻³) | 时段 | 径流量/亿 m ³ | 输沙量/万 t | 含沙量/(kg·m ⁻³) |
| 1959 年以前 | 110.26 | 1025 | 0.93 | 1959 年以前 | 155.89 | 1665 | 1.07 |
| 1960 - 1969 | 108.87 | 1130.3 | 1.04 | 1960 - 1969 | 148.88 | 1199.6 | 0.81 |
| 1970 - 1979 | 107.72 | 1569 | 1.48 | 1970 - 1979 | 159.84 | 1803 | 1.13 |
| 1980 - 2000 | 108.9 | 936.5 | 0.86 | 1980 - 2000 | 154.6 | 556.6 | 0.36 |

| . 江界河水文站 | | | | . 思南水文站 | | | |
|-------------|----------------------|---------|---------------------------|-------------|----------------------|---------|---------------------------|
| 时段 | 径流量/亿 m ³ | 输沙量/万 t | 含沙量/(kg·m ⁻³) | 时段 | 径流量/亿 m ³ | 输沙量/万 t | 含沙量/(kg·m ⁻³) |
| 1959 以前 | 216.13 | 1446.3 | 0.67 | 1959 年以前 | 271.71 | 2180 | 0.80 |
| 1960 - 1969 | 207.63 | 1266.6 | 0.61 | 1960 - 1969 | 265.92 | 1815 | 0.68 |
| 1970 - 1979 | 240.09 | 1540 | 0.64 | 1970 - 1979 | 283.77 | 2200 | 0.78 |
| 1980 - 2000 | 227.9 | 273.5 | 0.12 | 1980 - 2000 | 285.1 | 484.7 | 0.17 |

2.4 输沙模数分布格局及动态变化原因分析

贵州省河流输沙模数的分布格局及其动态变化是水土流失过程和河流水文过程的综合体现,主要受制于地质地貌、气候、植被覆盖、土壤水文和人类活动等因素,其中植被覆盖和人类活动的影响最大。贵州省东部地区植被覆盖度

要高于西部地区,特别是黔东和黔东南地区,是中国杉木生长的最佳地带,有效地抑制土壤侵蚀,水土流失轻微,河流输沙量很低。位于黔西的毕节和六盘水地区,垦殖率较高,植被覆盖度低,陡坡耕地面积大,水土流失严重,河流输沙量较大。另外,水电站的建立对径流泥沙的拦蓄作用也很大,据

相关统计,在贵州省现有的5座大型水库中,有4座位于乌江上中游,其中乌江渡水库总库容达23亿 m^3 ;同时,黔西有“煤海”之称,以炼焦煤为主的六盘水是我国南方最大的煤田,煤矿的开采以及炼煤矿渣随意堆放,容易破坏矿区地质环境原有的平衡状态,极易达到地质灾害的临界值,造成塌方等人为水土流失,矿渣随水入河,增加江河含沙量,同时与煤炭工业有关的电力、钢铁、水泥等重工业发展,在一定程度上增加了地区自然环境的不稳定因素,加之交通运输业的发展,都会加剧贵州西部地区的河流泥沙量。

从20世纪50年代到70年代末,人口持续增加,加之片面追求粮食生产的政策加剧了植被破坏进程,输沙模数极大值持续增大,从20世纪50、60年代的 $800\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,到70年代为 $1\,200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,在1980-2000年时已经达 $1\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。输沙量为 $500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 特征线南段位置基本保持不变,稳定于北盘江一带,变化主要体现在北段的摆动,1956-1979年各阶段持续东移,主要反映了人类开垦和破坏植被的范围日趋扩大,且以黔西北更为强烈。进入80年代以后,由于国家宏观经济政策的实施和水土保持力度的加大,控制水土流失初见成效,输沙模数大于 $500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的范围逐步缩小。贵州省河流泥沙分布格局和时间动态变化,基本上与植被分布格局和人类活动影响特征相吻合,说明可以通过河流泥沙变化来研究贵州省水土流失区域特征,为水土保持规划和效益评价提供理论依据。

3 结论

(1) 贵州省河流泥沙分布格局和时间动态变化,基本上与植被时空格局变化特征及人类活动的影响过程相吻合,说明可以通过分析河流泥沙变化过程来研究贵州省水土流失区域特征及时间动态过程,但需要结合考虑大型水电工程的蓄水拦沙影响。

(2) 贵州省河流输沙模数西高东低的分布格局,反映黔西地区为贵州省水土流失严重区。20世纪50-70年代末,水土流失严重区逐步扩大,80年代以后,全省水土流失总体呈减弱的趋势,但在西部严重区为进一步加剧。

(3) 河流泥沙随时间的变化表现出一定的周期性,基本上逢3~4a就出现一个极端值,形成波峰或波谷。以1965年为界,之前的时间段内输沙模数较小值年份出现的频率高,之后的时间段内输沙模数较大值年份出现的频率则高。

1966-1967年枯水和低输沙量、1971-1972年的平水和高输沙量现象的出现,对进一步研究分析贵州省径流泥沙关系和水土流失演变过程具有重要的指示意义。

参考文献:

- [1] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.
- [2] 朱国安.贵州西部山区土壤侵蚀研究[J].水土保持通报,1990,10(3):1-7.
- [3] 杨胜天,朱启疆.贵州典型喀斯特环境退化与自然恢复速率[J].地理学报,2000,55(4):460-466.
- [4] 周忠发,安裕伦.贵州省水土流失遥感性状调查及空间变化分析[J].水土保持通报,2000,20(6):23-25.
- [5] 李孝广,毕华兴,寇许,等.径流泥沙影响因子及其分析研究[J].林业调查规划,2005,30(6):102-105.
- [6] 李琼芳,邹振华,郭瑾,等.人类活动对长江泥沙特性的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(4):364-368.
- [7] 刘毅,张平.长江上游流域地表侵蚀与河流泥沙输移[J].长江科学院院报,1995,12(1):40-44.
- [8] 景可.长江上游泥沙输移比初探[J].泥沙研究,2002(1):53-59.
- [9] 张光科,刘东,方铎.山区流域泥沙输移比计算公式[J].四川大学学报,1996(6):85-90.
- [10] 吴成基,甘枝茂.陕南河流泥沙输移比问题[J].地理科学,1998(1):44-49.
- [11] 钱宁,王可钦,阎林德,等.黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响[C].河流泥沙国际学术讨论会论文集,1980:55-62.
- [12] 许炯心,孙季.水土保持措施对流域泥沙输移比的影响[J].水科学进展,2004,15(1):29-34.
- [13] 许炯心.黄土高原的高含沙水流侵蚀研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):27-45.
- [14] 府仁寿,齐梅兰,方红卫,等.长江宜昌至汉口河段输沙特征分析[J].水利学报,2005,36(1):35-41.
- [15] 潘九根.金沙江流域的河流泥沙输移特性[J].泥沙研究,1999(2):46-49.