

赣江上游章水流域水沙变化的驱动力分析^{*1}

刘惠英^{1, 2} 白桦^{1, 2}

(1. 南昌工程学院水利与生态工程学院, 江西南昌 330099;

2. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西南昌 330029)

【摘要】:为揭示赣江上游流域输沙量急剧减小过程中各影响因子的相对贡献率,以上游的章水流域为代表区域,采用流域控制站坝上水文站 1956~2015 年流域面雨量、径流和输沙数据,并结合趋势检验、Pettitt 突变检验等方法,计算并分析了该流域多年降雨量、径流量和年输沙量的变化趋势和突变。采用累积量斜率变化率比较法分析了自然因素和人类活动在章水流域水沙关系变化中的相对贡献率。结果表明:流域降雨和径流 60a 间无显著变化趋势和突变点,年输沙减少趋势显著,在 1994 年发生有超过显著性水平 0.001 的突变。相对于 1956~1994 年,在 1995~2015 年,人类活动对章水流域水沙关系的贡献率为 99.4%;研究表明水利工程建设和水土保持等人类活动对赣江上游章水流域输沙量变化影响及其显著。研究对于准确评价水利工程和水土保持效益具有重要的指导意义。

【关键词】:水沙关系;赣江上游流域;人类活动贡献率;双累积曲线

【中图分类号】:S157; TV122 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)03-0615-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201803017

在全球气候变暖和人类活动干扰的背景下,流域水文过程发生了巨大变化。一方面,水文循环过程对降水、蒸发等气候变化极其敏感,会随之改变^[1~4];另一方面,随着经济发展和科技进步,水利工程建设、毁林造林、城市化等人类活动引起了流域内土地利用/覆被变化,显著改变了下垫面条件,从而导致流域径流和泥沙也相应发生了急剧变化,使水文过程更加复杂多变^[5, 6]。赣江是鄱阳湖水系的最大支流,是长江的第七大支流,在长江流域的径流调蓄、洪水调蓄及生物多样性保护方面发挥着巨大特殊生态与防洪功能。其水利、水保措施的水文效应与鄱阳湖、长江水沙演变过程之间的相互作用关系,是学术界和相关管理部门重点关心的热点问题。赣江上游自 20 世纪 50 年代开始进行了系统的泥沙监测,是长江流域泥沙监测历史最长的区域之一,具有重要的典型性和代表性。赣江上游又是江西省水土流失最严重的地区之一^[7]。据统计,赣江上游的控制站棉津站多年平均径流量和多年平均输沙量(含推移质)分别占到赣江下游外洲站的 44.6%和 76%,赣江上游的水沙变化对赣江流域以至鄱阳湖都有重大而深远的影响。

流域内修建了大量的水库,截至 2009 年 12 月底,赣江已注册水库共 4355 座,总库容量 110 亿 m³,占流域多年平均径流量

¹ 收稿日期:2017-05-26; 修回日期:2017-08-08

基金项目:江西省教育厅科研技术资助项目“定量评价赣江流域上游土地覆被变化对水沙关系的影响”(GJJ161098);江西省土壤侵蚀与防治重点实验室开放基金“赣江上游水沙时空演变及其对植被恢复的响应”(JXSB201303);国家自然科学基金项目“基于河湖关系的赣江尾闾河段水质演变机理与调控”(51309129);江西省科技厅社发领域重点项目“赣江尾闾河段水环境演变机理与调控”;国家自然科学基金项目“水利工程和水工保持措施对赣江上游水沙关系影响的定量研究”

作者简介:刘惠英(1973~),女,副教授,主要研究方向流域水沙变化和水体监测方面研究. E-mail:huiyingliu@nit.edu.cn

的 16.2%，其中大型水库 15 座，中型水库 113 座^[7]。自 1989 年以来，流域内开展了一系列的水土保持治理工作，包括“全国八片水土保持重点防治工程”、“国家水土保持重点建设工程”及“退耕还林还草工程”等一系列的水保工程。水土保持措施和水利工程使赣江上游流域下垫面发生了显著的变化。查明水沙关系变化特征、趋势以及自然因素和人类活动对流域水沙关系的影响程度，对赣江上游流域的保护具有特殊的意义，对于揭示赣江上游土壤侵蚀产沙机制、影响因素、水土保持治理成效、减缓库区泥沙淤积和延长水库使用寿命等方面具有重大而深远的实际意义。

1 流域概况

赣江流域总面积达 8.28 万 km²，占鄱阳湖控制面积的 51%。赣江主河道长约 823km，其中万安以上为上游、安到余干之间为中游、新干至吴城为下游。上游流域面积约为 3.68 万 km²，占到赣江流域的 45.6%，有两源：东为贡水，西为章水^[7]。章水流域是赣江上游左岸一级支流，古名豫章水，又名溢浆水、章江，位于江西省赣州市西南部，113° 43′~115° 02E，25° 15′~26° 15′ N，流域面积 7700km²，涉及湖南省两县和江西省 7 县。西接洞庭湖水系，南邻桃江和珠江流域北江水系，北靠遂川江，东入赣江。流域河流密布，共有支流 500 余条^[8]。章水的主干道长 222km，在南康市三江口以上分为两支。左支为上犹江流域，其河道长约 193km，发源于赣湘交界的山脉之中，右支为章江流域，其集水面积为 2824km²，河长 177km^[8]。左右两支在三江口合为章水，在赣州市八镜台与贡水汇合形成赣江。流域雨量充沛，属于亚热带季风气候。多年平均年水面蒸发量 1060mm，年平均气温为 16.3~19.5℃，气候较为温和，光照充足，四季比较分明。年内春雨和梅雨较为明显，夏季和秋季晴热干燥，而冬季阴冷干燥，霜冻期较短。流域多暴雨，大多数暴雨覆盖全流域，形成流域性洪水^[8]。

流域地貌以低山和丘陵为主，表现为东高西低，周高中低。流域最高点为崇义、上犹、桂东三县交界的齐云山鼎锅寨，高程 2061m(黄海基面)。上游以中低山为主，植被较好；中游地区除局部为平原外，多为丘陵；下游地区多为丘陵和河谷平原，地势平坦但植被较差。流域地处华南地层区，构造单元为赣中南褶皱，流域边缘主要为变质岩，中部由花岗岩和细屑红色岩，抵抗性差，容易被冲刷，故中部的水土流失情况较为显著。流域境内部地势起伏，山区面积占到流域总面积 70%以上。流域内部的河流大多发源于边缘山脉之中，向流域中部逐渐汇集，呈现出辐射状。流域内的山间河谷发育，分布着大大小小的诸多盆地^[7]。

2 数据来源及其方法

2.1 数据来源

章水流域控制站坝上水文站位于赣州市水南镇腊长村(114° 57′ E，25° 49′ N)(图 1)。集水面积 7657km²，占章水流域面积 99.4%，属国家基本水文站网。自 1956 年开始进行泥沙监测，是赣江上游支流中泥沙监测历史最长的站点之一，具有相当重要的典型性和代表性。流域内虽有多雨站，但因各站建站时间不同，且偶有缺测、漏测，数据长度不一致。故降雨采用“中国气象科学数据共享服务网”提供的“中国地面气象数据”遂川站、赣县站及其临近的南雄站四站和大余、南康两县水利部门提供 1956~2015 年日降雨资料。流域雨量站按泰森多边形合成计算所得。章水流域坝上站径流和输沙数据均来自长江水利委员会编撰的水文年鉴，数据可靠性和精度能满足计算要求。

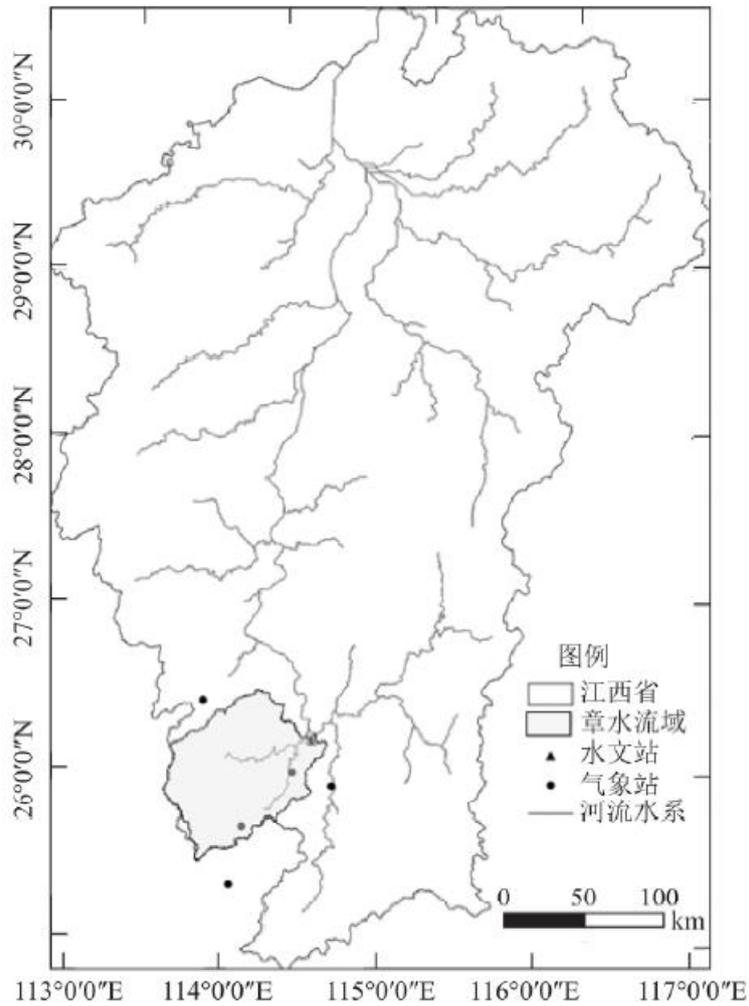


图 1 章水流域示意图

Fig. 1 Sketch map of the Zhang River Basin

2.2 研究方法

2.2.1 Pettitt

Pettitt 检验原假设认为突变点没有明显的显著性，即突变点不存在，若年降雨量和年输沙量突变点统计值处于上下信度线之间，接受原假设；备择假设认为突变点显著，即存在突变点，若年降雨量和年输沙量的突变点统计值处于上下信度线外侧，接受备择假设，认为该点是各要素的突变点^[9, 10]。

2.2.2 双累积曲线法

所谓双累积曲线法就是将同一时期内一个变量序列的累计值与另一个变量序列的累积值绘制在同一个坐标系内。它可以用于水文气象要素的一致性检验、资料校正或缺值的插补，以及水文气象要素强度的分析及其趋势性变化^[11, 12]。

2.2.3 累积量斜率变化率比较法

在确定自然和人类活动对水文要素(降雨、径流、输沙等)变化的贡献率问题的研究上,多元回归分析是较为常用的办法,但由于在各影响因素的权重赋值问题上存在较大的人为主观性,其研究结果的可复制性较差。王随继等提出的累积斜率变化率比较法为该类问题的研究开拓了一条新思路^[13]。

以降雨量和人类活动对流域输沙量变化影响为例,假设累积输沙量一年份线性关系曲线斜率在突变点两侧的两个时期分别为 G_{as} 和 G_{bs} (单位均为 $1 \times 10^4 t/a$);累积降雨量一年份线性关系曲线的突变点前后两个时期分别为 G_{ap} 和 G_{bp} (单位均为 mm/a),则累积输沙量斜率变化率(T_s 单位为%)和累积降雨量斜率变化率(T_p 单位为%)分别为^[14]:

$$T_s = 100 \times (G_{as} - G_{bs}) / G_{bs} \quad (2-1)$$

$$T_p = 100 \times (G_{ap} - G_{bp}) / G_{bp} \quad (2-2)$$

式中: T_s 、 T_p 为正表示斜率增大, T_s 、 T_p 为负表示斜率减小。降雨量对输沙变化的贡献率 C_p 为:

$$C_p = 100 \times \frac{T_p}{T_s} \quad (2-3)$$

则人类活动对输沙变化的贡献率 C_H 为

$$C_H = 1 - C_p \quad (2-4)$$

3 流域水沙特征及趋势

3.1 流域降雨量基本特征

流域60a间多年平均降雨量为1467.5mm,变差系数为0.18。最大年降雨量是2096.8mm(1961年),最小年降水量1000.3mm(1971年)。章水流域降雨主要集中在丰水期(3~8月),占到全年降雨总量的70.2%,为枯水期降雨量的2倍多。从降雨的季节分布来看,春季降雨量最多年均550.5mm,占全年降雨总量的37.5%,其次为夏季和秋季,降雨量基本持平,冬季降雨最少仅为全年降雨总量的14.0%。

表1 章水流域1956~2015年降雨量特征表

时段	多年平均值 (mm)	百分比 (%)	Cv	最大值 (mm)	最小值 (mm)
年	1 467.5	—	0.18	2 096.8	1 000.3

丰水期	1 029.8	70.2	0.18	1 419.9	577.8
枯水期	437.7	29.8	0.31	786.4	225.6
春	550.5	37.5	0.22	843.9	284.0
夏	479.3	32.7	0.27	808.6	274.6
秋	232.4	15.8	0.46	538.3	59.3
冬	205.3	14.0	0.41	423.3	39.4

对流域多年年内降雨特征进行分析发现:5月为多年最大降雨月,占全年降雨的14.6%,但变差系数最小,为0.30。多年最小降雨月为12月,但变差系数近最大,为0.86。在枯水期的Cv值较丰水期大,即章水流域在枯水期降雨量小但变幅较大(图2),月Cv值和月雨量成显著的反向关系。从图2中可以看出章水流域降雨在年内分布呈双峰曲线,5~6月为第一个峰,7月份降雨量明显减小,8月为第二个峰,9月份之后降雨量又逐步减小。主要降水集中在3~8月份,持续降雨最大的是4~6月份,其降水总量达到全年降雨的41.6%,这与赣江流域降雨大趋势相吻合。

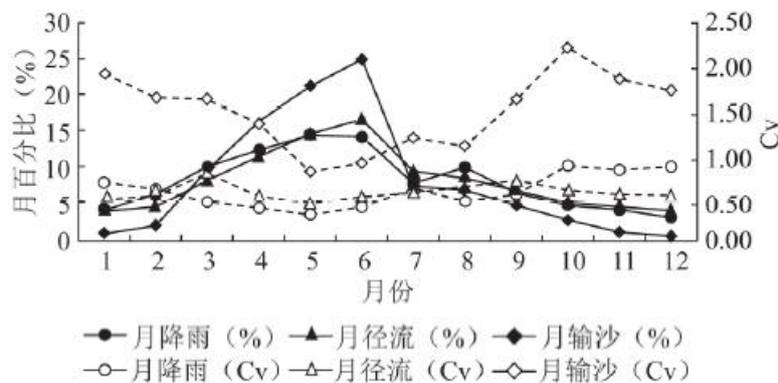


图2 章水流域月降雨、径流和输沙年内分布及其变化

Fig. 2 Monthly distribution and variations of precipitation, runoff and sediment in hydrological stations of the Zhang River Basin

3.2 流域径流基本特征

流域60a平均径流量为62.04亿 m^3 ,最大年径流量达到116.23亿 m^3 (1973年),最小径流量为25.81亿 m^3 (1956年),极值比4.5,变差系数为0.31,接近降雨的变差系数。流域多年平均最大月径流量发生在6月份,达到10.43亿 m^3 ;最小多年平均月径流量发生在1月份,为2.53亿 m^3 ,各月变差系数在0.48~0.70(图2),变幅不大。4~6月3个月径流量最大,其径流量之和占年径流量总量的43.3%。

丰水期(3~8月)的多年平均径流量占到全年的70.1%,枯水期仅占全年径流量的29.9%;从四季分布来看,流域春季年均径

流量和夏季基本相同，分别为 34.9%和 35.2%，而冬季年均径流量最少仅为全年径流总量的 13%。不管是年内分配还是年内不同时间尺度的变差系数，径流和降水的年内特征相同完全一致(图 2)。对年降雨和年径流进行相关分析发现，不管是 Pearson 相关系数还是 Kendalltau_b 和 Spearmanrho 相关系数，均超过了显著性水平 0.01 的检验。表明章水流域的降水径流具有很好的一致性和相关性。

表 2 章水流域 1956 ~ 2015 年径流量特征表

时段	多年平均值 (亿 m ³)	百分比 (%)	最大值 (亿 m ³)	最小值 (亿 m ³)	Cv
年	62.04	-	116.23	25.81	0.31
丰水期	43.47	70.1	85.26	15.82	0.33
枯水期	18.57	29.9	39.64	7.56	0.36
春	21.66	34.9	52.41	7.70	0.44
夏	21.81	35.2	44.89	5.35	0.41
秋	10.53	17.0	30.72	2.52	0.50
冬	8.05	13.0	15.33	3.85	0.34

3.3 流域输沙基本特征

流域多年平均输沙量 95.42 万 t，变差系数为 0.61，大于降雨和径流的变化。最大年输沙量达 268.4 万 t(1973 年)，最大日平均输沙率达到 2030kg/s，和径流最大年份一致。2000 年以后输沙量明显减小，最小的年输沙量为 11.51 万 t(2004 年)，只占多年均值的 13.46%，极值比 23.3，年际间产沙变化悬殊。

丰水期输沙量占到全年的 87.1%，春季输沙量占到了全年的 47.5%，冬季仅为 3.8%。丰水期尤其是春季的输沙对流域水沙关系影响作用大。秋、冬两季 Cv 值大于 1，表明年间变化大。流域 4~6 月输沙量之和占全年的 62.62%，大于降水和径流的比重。最大月输沙量为 127.86 万 t，发生在 6 月份，和降雨和径流发生时间一致；最小月输沙量为 0.86 万 t，发生在 12 月份，全年输沙量的分布与径流量的年内分布较为一致，呈现出“大水大沙，小水小沙”的特点。月输沙量和月变差系数有显著的逆向关系(图 2)，即 4~6 月输沙量不仅大，而且相对比较稳定。

表 3 章水坝上站 1956 ~ 2015 年输沙量统计特征

输沙量	多年均值 (万 t)	百分比 (%)	最大值 (万 t)	最小值 (万 t)	Cv
全年	95.42	—	268.41	11.51	0.61
丰水期	83.15	87.1	252.37	9.43	0.63

枯水期	12.27	12.9	53.39	1.65	0.96
春	45.33	47.5	185.12	1.85	0.84
夏	37.82	39.6	140.24	5.29	0.71
秋	8.65	9.1	50.99	0.47	1.22
冬	3.62	3.8	22.21	0.22	1.19

3.4 流域水沙年代际变化及趋势

对流域 1956~2015 年的降雨量、径流量、和输沙量按年代分段，统计特性见表 4。在不同年代，年降雨量的特征各不相同，1986~1995 年降雨量均值最小，为 1421.32mm/a；1996~2005 年时间段内年降雨量的均值最大，为 1508.25mm/a，最少时段相比降雨增长了约 6.1%。1976~1985 年径流量的均值最大，和降雨最大时段不一致，为 65.07 亿 m³/a，是流域多年平均年径流量的 1.05 倍；1956~1965 年径流量的均值最小，为 58.58 亿 m³/a，比均值少 5.6%。输沙量最大时段是 1976~1985，为 137.49 万 t/a，是多年平均年输沙量的 1.44 倍，和年径流特征一致；2006~2015 年间年输沙量均值最小，为 42.70 万 t/a，仅为多年平均输沙量的 44.75%，相比 1976~1985 年代减少了 196%。输沙量的变化远远大于降雨和径流的变化。

表 4 章水流域 1956 ~ 2015 年水沙的年代特征

时段	降雨量		径流量		输沙量	
	均值 (mm)	Cv	均值 (亿 m ³)	Cv	均值 (万 t)	Cv
1956-1965	1 457.99	0.20	58.58	0.40	114.36	0.47
1966-1975	1 482.10	0.25	63.85	0.44	122.72	0.59
1976-1985	1 501.38	0.11	65.07	0.26	137.49	0.34
1986-1995	1 421.32	0.18	63.37	0.27	101.69	0.49
1996-2005	1 508.25	0.18	62.34	0.29	53.57	0.48
2006-2015	1 433.83	0.20	59.04	0.20	42.70	0.44
1956-2015	1 467.48	0.18	62.04	0.31	95.42	0.61

对章水流域 1956~2015 年降雨量、径流量和输沙量进行趋势检验和 Pettitt 检验，发现年输沙减小趋势显著并在 1994 年发生了突变，显著性水平超过 0.001，而降雨和径流均未发生明显趋势和突变。对各要素做累积距平曲线(图 3)，亦有相同结果。坝上站年输沙量呈现出显著的先上升后下降特征：1956~1994 年输沙量呈增加趋势，从 1994 年以后呈现出较为明显的下降趋势。

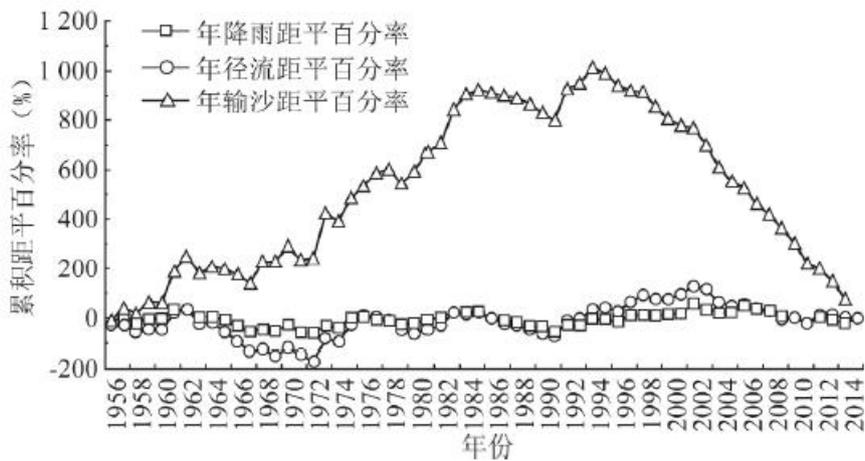


图3 坝上站 1956~2015 年降雨、径流和输沙的累积距平百分比曲线

Fig. 3 Trend of accumulative anomaly of annual precipitation, runoff and sediment in Bashang Stations of Zhang River Watershed from 1956 to 2015

4 结果分析

4.1 双累积曲线检验年降雨量和年输沙量的突变

参照累积量斜率变化率法，对流域年降雨量和年输沙量建立降雨—输沙双累积曲线，各段的曲线拟合方程及相关性系数见图4。曲线的拐点在1994年。即年输沙量序列在1994年发生突变，与Pettitt检验的结果相吻合。即年输沙量存在明显的阶段变化，可分为1956~1994年和1995~2015年两个时段。

4.2 突变年份前后时段年输沙量、年降雨量和年份之间的关系

依据累积量斜率变化率法，根据突变年将整个研究时段分成两个时段，为方便表述，分别用A、B代表1956~1994年和1995~2015年。年输沙序列分为 A_s 、 B_s 分别为两个时段的输沙量，单位为万t。由 A_s 和 B_s 两个时期的累积输沙量与年份间的关系可以分别拟合出相应的关系式如下：

$$Y_{A_s} = 122.1x - 23879 \quad R^2 = 0.997 \quad (4-1)$$

$$Y_{B_s} = 47.79x - 90524 \quad R^2 = 0.989 \quad (4-2)$$

式中：自变量 x 为年份；因变量 Y 为坝上站的累积输沙量(万t)；式中的下标代表不同的时期， R 为相关系数。

同理拟合出累积降雨量与年份间的关系式为：

$$Y_{AP} = 1474x - 3000000; R^2 = 0.999 \quad (4-3)$$

$$Y_{BP} = 1456x - 3000000; R^2 = 0.999 \quad (4-4)$$

式中:自变量 x 为年份; 因变量 Y 为坝上站的累积降雨量(mm); R 为相关系数。以上各式中的相关系数 R 均远远超过显著性为 0.01 的检验, 表明利用累积降雨量(输沙量)和年份建立的相关关系是可靠的。

与 As 时段相比较, 由累积输沙量一年份曲线可知, Bs 时段年均累积输沙量下降 74.31 万 t/a, 下降率为 60.86%; 同一时期的年均累积降雨量减小 18mm/a, 下降率仅为 1.2%。

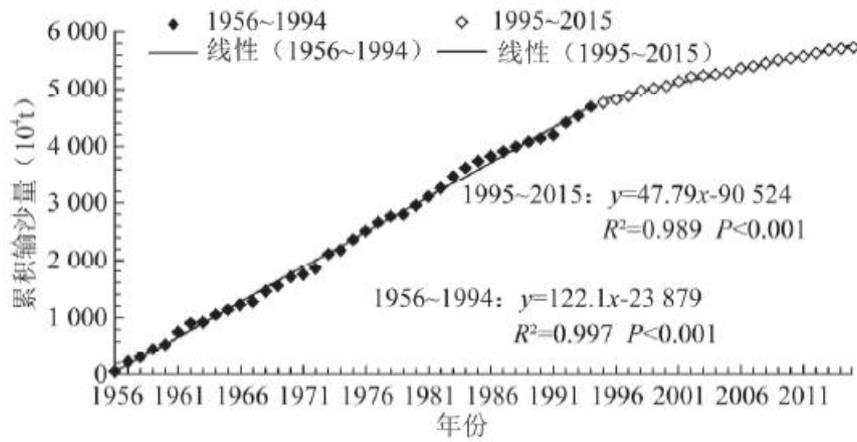


图 5 累积输沙量与年份间的关系图

Fig. 5 Relationship of year with accumulative sediment at Bashang Station

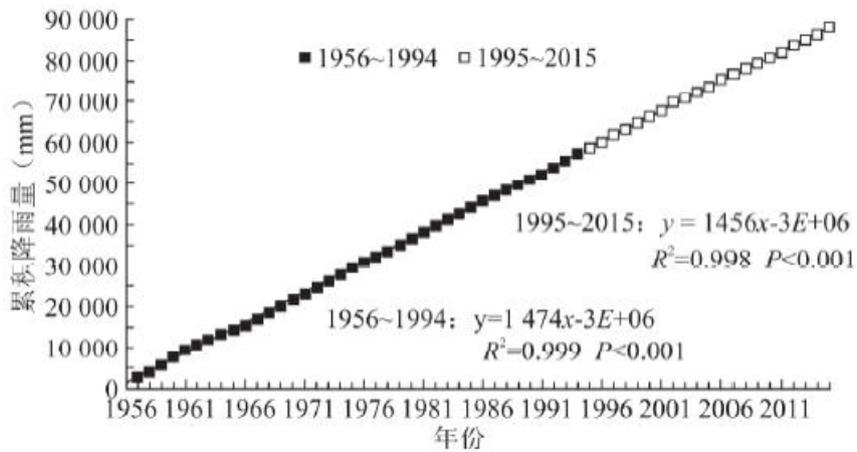


图 6 坝上水文站年累积降雨量与年份间的关系图

Fig. 6 Relationship of year with accumulative precipitation at Bashang Station

表 5 章水流域累积输沙量斜率及其变化

时期	累积产沙量年份 (10^4t/a)	斜率与 A 时段比较	
		变化量 (10^4t/a)	变化率 (%)
As	122.1	—	—
Bs	47.79	-74.31	217.72

4.3 人类活动和降水对输沙量的贡献率分析

累积输沙量一年份线性关系曲线斜率在突变点两侧的两个时期分别为 G_{AS} 和 G_{BS} (单位均为 10^4t/a)；累积降雨量一年份线性关系曲线的突变点前后两个时期分别为 G_{AP} 和 G_{BP} (单位均为 mm/a)，则根据式 (2-1) 和式 (2-2) 计算可得累积输沙量斜率变化率 (T_S 单位为%) 和累积降雨量斜率变化率 (T_P 单位为%) 分别为：

$$T_S(\%) = 100 \times \frac{(G_{AS} - G_{BS})}{G_{BS}} = 217.72$$

$$T_P(\%) = 100 \times \frac{(G_{AP} - G_{BP})}{G_{BP}} = 1.2$$

则降雨对流域产沙的贡献率 CP 由式 (2-3) 计算可得：

$$C_p = 100 \times \frac{T_p}{T_s} = 0.6\%$$

人类活动对输沙变化的贡献率 C_H 由式(2-4) 计算可得为

$$C_H = 1 - C_p = 99.4\%$$

4.4 流域水沙关系变化原因

引起流域输沙减小的原因主要包括自然因素和人类活动两大类，而自然因素又可分为地质地貌和气候因素。

4.4.1 自然因素

从章水流域岩性来看，流域边缘主要为变质岩，而中部的低山丘陵主要由花岗岩和细屑红色岩组成。细屑红色岩抵抗性差，容易被冲刷，以上特点形成了章水流域有雨成洪、大水大沙、小水小沙的特点。故 1995 年以后降雨量的微弱减小，导致流域的产沙在一定程度上相应的减少。

4.4.2 人类活动

因人类活动涉及较广，其分项措施在相关年度数据难以完全收集，这里仅讨论人类活动的综合影响在输沙变化过程中的贡献率。章水流域人类活动主要为水库拦沙和水土保持措施。从上文分析可以看出人类活动，影响程度达到了 99.4%。人类活动情况综合影响反应在流域内土地利用的变化上。比较章水流域 1985 年和 2000 年的土地利用数据，各土地利用类型及其变化情况见表 6。

表 6 章水流域 1985 年和 2000 年土地利用变化表

项目类型 \ 时间	1985 年		2000 年		变化量	变化率
	面积 (km ²)	比例 (%)	面积 (km ²)	比例 (%)	面积 (km ²)	比例 (%)
耕地	6 090.74	79.18	6 088.1	79.15	-2.64	-0.04
林地	393.51	5.12	385.78	5.02	-7.73	-2.00
草地	68.06	0.88	66.98	0.87	-1.08	-1.61
商业用地	37.12	0.48	47.14	0.61	10.02	21.26
水域	697.92	9.07	704.57	9.16	6.65	0.94

其他土地	404.65	5.26	399.42	5.19	-5.23	-1.31
总面积	7 692	100	7 692	100	0	0

流域水域面积增加 6.65km²，与水库的修建有关(表 7 仅为水库，还有水塘未统计到)。通过统计坝上水文站的含沙量与其上游水库修建时间，发现随着每一个水库的修建，流域卡口站含沙量逐步减小，从 1957 年之前未建水库到 2006 年牛鼻拢水库建成之后，坝上站的多年平均含沙量由 0.224kg/m³ 减小到 0.073kg/m³，减少了 62.1%。水库的修建时间、水库的控制面积及其库容大小和流域控制站的含沙量有较高的相关性。流域内水库均为年调节，对年径流几乎没有影响，但水库的调蓄作用及对泥沙的拦截，降低了水流的挟沙能力，对流域泥沙的减少有至关重要的影响。以上均可证明水库拦沙是流域输沙量减少的主因。

表 7 上游修建水库前后坝上水文站输沙量和含沙量统计表

水库名称	建成时间	控制面积 (km ²)	库容 (亿 m ³)	建成当年坝上站含沙量 (kg/m ³)
上犹江水库 (大二)	1957	2750	8.22	0.224
长河坝水库	1975	49.5	1.32	0.176
油罗口水库	1981	557	4.79	0.233
南河水库	1983	2830	5.25	0.230
长河坝水库 (除险加固后)	1991	49.5	1.32	0.120
龙潭水库 (大二)	1995	150	1.76	0.110
仙人陂水库	1995	3 108	1.92	0.110
罗边水库	1997	3 109	1.59	0.089
添锦潭水库	2005	409	2.24	0.073
牛鼻拢水库	2006	1 125	1.25	0.100

同时，从 1985 年到 2000 年，流域耕地面积减少 2.64km²、林地面积减小 7.73km²、草地面积减小 1.08km²、商业用地的面积增加了 10.02km²，其他土地面积减小 5.23km²。

耕地面积在减少 1985~2000 年间耕地面积的减小与流域内采取生物措施、工程措施的水土保持工作有关。流域水土流失面积 1980 年是 1400km², 1997 年减少到 1150km², 到 2001 年时面积为 1080km²。同期治理水土流失面积为:1981~1990 年 156km², 1991~2005 年 197km²。流域调查发现:研究区域的上犹县在 1998~2003 年的国债鄱阳湖流域治理项目中, 治理了合溪河、梅水河等 6 条小流域。2004~2010 年实施的国家农发水保项目, 治理了黄塘等 13 条小流域, 累计综合治理水土流失面积 190.73km², 其中坡改梯 0.41km², 水平台地 0.51km², 营造水土保持林 43.17km², 开发种植经果林 16.83km², 种草 12.28km², 封禁治理 118.14km², 修筑塘坝 80 座, 蓄水池 101 座, 沉砂池 737 座谷坊 573 座, 修筑拦砂坝 36 座, 新修道路 41.9km, 修筑沟头防护 109km, 开挖水平沟 1274km, 开挖鱼鳞坑 36.6 万个。以上水保措施从源头减小了流域的输沙侵蚀。但这时期内总的林地、草地的面积并未出现较为明显的增加, 反而出现一定程度的减小, 这与流域内人类活动诸如乱砍滥伐、城镇化建设等有关, 商业用地面积的增加恰恰说明了这一点。

5 结论

本文采用 1956~2015 年赣江上游章水坝上水文站的水沙数据, 分析了章水连续 60a 水沙的年内、年际和年代际间变化特征以及可能的影响因素及其影响程度。得到以下主要结论:

(1) 章水流域降雨和径流 60a 间年无显著变化趋势和突变点。对年降雨和径流进行相关分析发现, 不管是 Pearson 相关系数还是 Kendalltau_b 和 Spearmanrho 相关系数, 均超过了显著性水平 0.01 的检验。表明章水流域的降水径流具有很好的相关性。降雨和径流年际间变化不大, 降雨和径流的 70% 分布在丰水期; 年内降雨和径流按照春、夏、秋、冬的顺序依次减少, 但变差系数变化与此相反。

(2) 章水流域年输沙量年际变化悬殊, 极值比为 23.30, 减少趋势显著, 在 1994 年发生有超过显著性水平 0.001 的突变。最小的年输沙量(2004 年)只占多年均值的 3.46%, 丰水期的输沙量占到全年的 87.1%, 春季输沙量占到了全年的 47.5%, 年内输沙按照夏、秋、春、冬的顺序依次减少, 但变差系数变化特征正好相反。

(3) 采用累积量斜率变化率法对流域水沙变化的驱动力及贡献率进行分析发现, 自然因素对流域水沙的变化仅为 0.6%, 人类活动对水沙变化的贡献率为 99.4%。流域内水库修建和水土保持措施等人类活动是章水流域水沙关系显著变化的主因。水库修建时间和卡口站含沙量有明显的负相关关系存在。突变点 1994 年后, 年均输沙量较突变前减少 68.6%, 含沙量降低 51.3%, 据此可以认为水库拦沙的贡献率在总人类活动贡献率的中占比较大。研究对于揭示赣江上游土壤侵蚀产沙机制及影响因素、水土保持治理成效和延长水库使用寿命等方面具有重大的实际意义。

参考文献:

[1] SERPA D, NUNES J P, SANTOS J, et al. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. [J]. Science of the Total Environment, 2015, 538: 64-77.

[2] DORE M H I. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? [J]. Environment International, 2005, 31(8) : 1167.

[3] PRASANNA V. Regional climate change scenarios over South Asia in the CMIP5 coupled climate model simulations [J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2015, 127 (5) : 561 -578.

[4] YE X, ZHANG Q, LIU J, et al. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities

on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 494(12) : 83–95.

[5] WANG Y, LIAO W, DING Y, et al. Water resource spatiotemporal pattern evaluation of the upstream Yangtze River corresponding to climate changes [J]. *Quaternary International*, 2015, 380: 187–196.

[6] PUMO D, CARACCILO D, VIOLA F, et al. Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 542(2016) (Pt A) : 76–92.

[7] 江西省. 江西河湖大典 [M]. 长江出版社, 2010.

[8] 江西省水利厅. 江西水旱灾害 [M]. 江西省水利厅, 1995.

[9] PETTITT A N. A non-parametric approach to the change point problem [J]. *Applied statistics*, 1979, 28(2) : 126–135.

[10] YE X, ZHANG Q, LIU J, et al. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 494(12) : 83–95.

[11] SEARCY J K, HARDISON C H. Double-mass Curves [M]. U S Geological Survey Water Supply Paper. 1541-B, 1960.

[12] 穆兴民, 张秀勤, 高鹏等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题 [J]. *水文*, 2010, 30(4) : 47–51.

MU X M, ZHANG X Q, GAO P, et al. Theory of double mass curves and its applications in hydrology and meteorology [J]. *Journal of China Hydrology*, 2010, 30(4) : 47–51.

[13] 王随继, 闫云霞, 颜明, 等. 皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析——累积量斜率变化率比较方法的提出及应用 [J]. *地理学报*, 2012, 67(3) : 388–397.

WANG S J, YAN Y X, YAN M, et al. Contributions of Precipitation and Human Activities to the Runoff Change of the Huangfuchuan Drainage Basin: Application of Comparative Method of the Slope Changing Ratio of Cumulative Quantity. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 67(3) : 388–397.

[14] 刘惠英, 高强. 三峡库区龙河流域水沙关系驱动因子贡献率分析 [J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(5) : 1–8.

LIU H Y, GAO Q. Contribution rate of driving factors on the rainfall-sediment relationship of Longhe River watershed in the Three Gorges Reservoir region. *Science of Soil and Water Conservation*, 2015, 13(5) : 1–8.

[15] ORTIZ R F. Methods to Identify Change in Background Water Quality Conditions Using Dissolved-Solids

Concentrations and Loads as Indicators, Arkansas River and Fountain Creek, in the Vicinity of Pueblo, Colorado
[M]. U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004
—5024, P24.