

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0153

冯德程, 吴栋栋, 赵玲玲, 等. 1952–2014年饶河流域水沙变化特征及影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(6): 53–59.
FENG D Z, WU D D, ZHAO L L, et al. Analysis on characteristics and influence factors of runoff and sediment changes in Raohe River basin from 1952 to 2014[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(6): 53–59. (in Chinese)

1952–2014年饶河流域水沙变化特征及影响因素

冯德程¹, 吴栋栋², 赵玲玲³, 程中阳⁴

(1. 中水珠江规划勘测设计有限公司, 广州 510610; 2. 水利部珠江水利委员会水文局, 广州 510611;
3. 广州地理研究所, 广州 510070; 4. 水利部珠江水利委员会技术咨询中心, 广州 510611)

摘要: 利用饶河流域 1952–2014 年 3 个水文站的实测流量、输沙量资料, 分析了饶河流域年径流量、年输沙量的变化特征。结果表明: (1) 饶河流域从径流和输沙地区组成来看, 昌江、乐安河、信江东大河占比在 20%~35% 之间, 输沙量和径流量成正比; (2) 饶河流域径流量年际变化较大, 20 世纪 90 年代水量异常偏多(+20%), 径流、输沙序列存在 20 年的周期, 但未来径流量表现为明显的随机性; (3) 输沙量在 1998 年后显著减少, 导致水沙双累积曲线发生转折, 未来输沙量可能继续减少; (4) 2000 年后径流量偏少(-10%) 是输沙量减小的原因之一, 1998–2007 年间建成的大中型水利工程拦截泥沙, 是饶河 2000 年后输沙量异常偏少的另一个主要因素。由于流域水土流失治理、水利工程建设等, 预计今后饶河干支流输沙量仍将进一步减少。研究结果可为饶河流域水资源综合利用开发和水生态保护提供参考。

关键词: 饶河流域; 水沙特征; 突变分析; 趋势分析

中图分类号: P333 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis on characteristics and influence factors of runoff and sediment changes in Raohe River basin from 1952 to 2014

FENG Dezheng¹, WU Dongdong², ZHAO Lingling³, CHENG Zhongyang⁴

(1. China Water Resources Pearl River Planning Surveying & Designing Co., Ltd., Guangzhou 510610, China; 2. Bureau of Hydrology of Pearl River Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Guangzhou 510611, China; 3. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 4. Technical Advisory Center of Pearl River Resources Commission of the Ministry of Water Resources, Guangzhou 510611, China)

Abstract: Based on the daily measured discharge and sediment data of three stations in Raohe River basin from 1952 to 2014, we studied the variation characteristics of the annual runoff and sediment transport. The results showed that: 1) In terms of the regional composition of runoff and sediment transport in the Raohe River basin, the Changjiang River, Lé an River, and Dongdaha River took up 20%–35%, and the sediment transport and the runoff were directly proportional to each other. 2) The runoff in the Raohe River basin showed prominent interannual variations. The flow in the 1990s was greater than the normal level (by 20%). The main period of the runoff and sediment transport series was 20 years, but the future runoff showed prominent randomness. 3) The sediment load declined significantly after 1998, causing a turning point on the double accumulative curve of runoff and sediment. The future sediment load might keep declining. 4) One of the reasons for the reduction of sediment load in Raohe River basin was the reduction of

收稿日期: 2018-05-13 修回日期: 2018-09-29 网络出版时间: 2018-10-22

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20181019.1635.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金(41501046; 41771044); 广东省水利科技创新项目(2014-14; 2016-14); 广东省自然科学基金(2015A030310234)

Funds: National Natural Science Foundation of China (41501046; 41771044); Guangdong Water Conservancy Science and Technology Innovation Project (2014-14, 2016-14); Guangdong Natural Science Foundation (2015A030310234)

作者简介: 冯德程(1986), 男, 海南澄迈人, 工程师, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: fengdezheng@126.com

通讯作者: 赵玲玲(1980), 女, 河南安阳人, 副研究员, 主要从事水文循环模拟方面研究。E-mail: zhaolingling@foxmail.com.

runoff after 2000 (by 10%). Another main factor was the interception of sediment by large and medium water conservancy projects built between 1998 and 2007. Owing to the control of soil erosion and construction of water conservancy projects, the sediment in Raohe River basin is expected to decline further in the future. The results can provide a reference for the comprehensive utilization and development of water resources and the water ecological protection in Raohe River Basin.

Key words: Raohe River basin; runoff and sediment characteristics; mutation analysis; tendency analysis

径流量是描述河流特征最重要和常用的指标,径流量大小取决于气象条件、流域特征,并受人类活动影响。输沙量则是河流重要水文特征之一,反映流域土壤侵蚀强度、水土流失等情况^[1-3]。为生产、生活的需要,近20年我国许多河流新建起了不少水利枢纽、发展了不少灌区,这对河流泥沙冲淤变化造成了较大影响。因此分析河流水沙变化是辨识人类活动对自然环境干扰的重要途径之一。

鄱阳湖流域悬移质输沙量的跳跃特征与流域内水库建设、森林植被的变化密切相关^[4]。近几十年来,鄱阳湖流域水沙均发生了不同程度的变化,水库等水利工程与水土保持工程对其有着深刻的影响,环境变化下鄱阳湖流域水沙变化规律也成为当前研究的热点。对于鄱阳湖流域水沙变化,我国学者已开展过不少研究。如,早期的郭鹏、陈晓玲等^[5]基于鄱阳湖流域3个水文站1955-2001年的水沙数据,采用滑动平均法、Spearman秩次相关检验、线性回归检验等方法,对鄱阳湖出湖输沙量,赣江、信江水沙总体变化趋势进行了分析。而后齐述华、熊梦雅等^[6]利用鄱阳湖流域水文控制站1950-2010年水文资料,系统全面的分析了鄱阳湖出、入湖泥沙特征,对鄱阳湖泥沙收支平衡进行了分析,并揭示了长江与鄱阳湖之间的水动力关系。还有研究者总结了鄱阳湖湖区、赣江、信江等流域的水沙变化规律,同时分析了其变化原因^[7-22]。鄱阳湖流域上述研究大多是针对鄱阳湖湖区或赣江、信江,现有研究基本未将饶河流域作为重点研究。

饶河是鄱阳湖流域五河水系之一,饶河水沙变化特征对入湖水沙通量起着重要作用。自建国以来,随着饶河流域及下游湖区经济社会快速发展、人口增长和城市化水平的提高,经济社会对水资源综合利用与水生态环境保护的要求越来越高。因此,对饶河流域水沙变化特征进行研究很有意义。本文利用饶河流域干支流控制站水沙观测资料,采用传统统计方法,分析流域水沙趋势性、跳跃性、周期性特征,以期掌握在水土保持工程和水利工程影响下流域径流泥沙的演变规律,旨在为流域水资源综合利用和水生态环境保护提供一定

的科学参考。

1 研究区概况

饶河为鄱阳湖水系五大河流之一,位于江西省东北部,位于东经 $116^{\circ}30' - 118^{\circ}13'$,北纬 $28^{\circ}34' - 30^{\circ}02'$ 之间,流域面积 $21\,272\text{ km}^2$ 。流域西邻鄱阳湖,北倚五龙山脉和白际山脉与安徽省青弋江毗邻,南靠怀玉山脉与信江相邻,东毗浙江省钱塘江。饶河由信江东大河、乐安河、昌江来水汇合而成(图1)。饶河主流乐安河发源于赣、皖边界的五龙山脉,自东北向西南流,流经婺源、乐平、万年等市区(县),至蔡家湾于左岸乐安村有信江东大河注入,过乐安村向西北流,至姚公渡与昌江会合后称饶河。二江会合后,绕鄱阳县城注入鄱阳湖。乐安河流域面积 $8\,546\text{ km}^2$,主流全长 279 km ;昌江流域面积 $6\,754\text{ km}^2$,主流全长 254 km ;汇合口以下流域面积 379 km^2 。

饶河流域属副热带季风气候区,春夏秋冬四季分明,气候湿润,雨量丰沛。流域内多年平均降雨量为 $1\,768.5\text{ mm}$,降水量地区分布基本趋势是乐安河略高于昌江,上游又稍大于下游。流域多年平均气温 $17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均蒸发量 $1\,426.1\text{ mm}$ 。

2 数据来源与研究方法

饶河(以鄱阳镇段为控制断面)来水由信江东大河、乐安河、昌江、区间来水组成。由虎山、渡峰坑站按面积比拟可得到乐安河、昌江两个流域径流量、悬移质输沙量;区间流量及输沙量可查水文等值线图得到;信江于八字嘴处分为东、西大河,将梅港站径流按面积比移至八字嘴,并以东、西大河专用水文站实测分流比成果分配流量,由此可得到信江东大河径流量,而东大河悬移质输沙量可按其径流量占比分配得到。本文选取信江东大河站、昌江的渡峰坑站、乐安河的虎山站为代表站,对1952-2014年共计63年的逐日平均流量、逐日平均输沙率数据进行统计计算,以此分析饶河流域水文时间序列变化的趋势与规律。本次分析所用水文数据来源于江西省水文局,个别缺测泥沙年份数据(缺测率约4.8%)可由邻近年份的流量-含沙量关系插补。

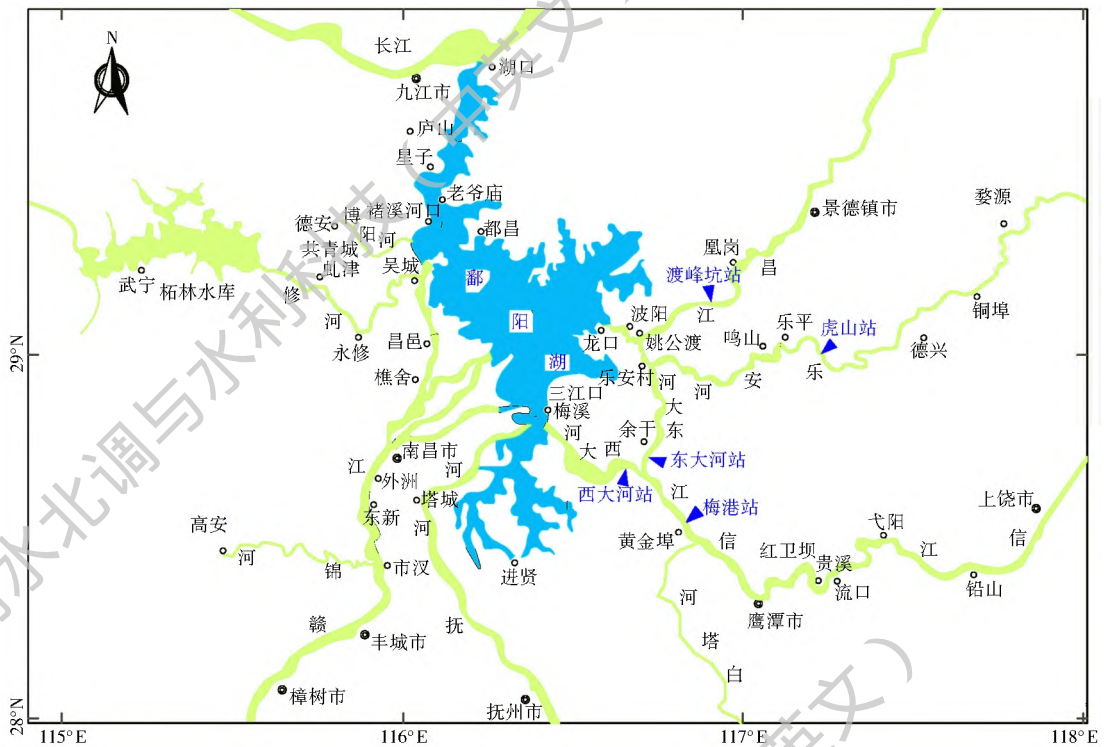


图1 饶河流域概况

Fig. 1 Map of Raohe River basin

本文采用水文统计法^[23]分析饶河干支流天然径流、输沙量序列的年内、年际变化特征与年际演变周期,并分析径流量与输沙量之间的关系及影响因素。

3 结果分析

3.1 水沙地区组成

饶河流域面积21 272 km²,水沙主要来源于三条支流,从多年径流量和泥沙组成量来看,饶河水沙来源以信江东大河为首,分别占30.5%和35.7%;乐安河次之,分别占30.9%和27.0%;昌江最小,分别占19.4%和19.6%(表1)。总体上饶河三支流水沙组成比例比较接近,多年平均径流量与多年平均悬移质输沙量基本成正比。由渡峰坑、虎山、东大河三站实测泥沙资料分析得到的流域泥沙推悬比均为15%左右。

3.2 水沙年内变化

从饶河干流鄱阳镇断面以及三个支流控制水文站多年平均径流量、输沙量年内的分配统计表中可以看出,饶河干流3月-8月汛期径流量为186.6亿m³,占年径流量的79.8%,3月-8月输沙量占全年高达93.9%;昌江、乐安河、东大河径流和输沙也都主要集中在3月-8月,分别占全年79.8%、86.0%、82.9%、76.1%和96.6%、94.6%、90.9%,饶河干支流6月的径流量、输沙量均达到最大,分别占全年的18.6%~23.0%和32.8%~36.6%之间。对

比表2成果,可以发现饶河干支流基本上丰、枯同步,其主要产流期也是主要产沙期。综合表1饶河干支流水文站含沙量实测成果分析,可以得出饶河流域泥沙主要是由雨洪对流域内表土的侵蚀产生,饶河属少沙河流域。

表1 饶河流域鄱阳镇断面、渡峰坑、虎山及东大河水文站水沙多年统计

Tab. 1 Statistics of runoff and sediment at Poyang town, Dufengkeng, Hushan, and Dongdahe Stations in Raohe River basin

站名/地名	集水面积/km ²	占流域 (%)	多年平均径流量/亿m ³	多年平均悬移质输沙量/万吨	含沙量/(kg·m ⁻³)
鄱阳镇	21 272	100	233.8	225.9	0.10
渡峰坑	5 013	23.6	45.4	44.3	0.10
虎山	6 374	30.0	72.3	61.1	0.08
东大河	5 593	26.3	71.3	80.7	0.11

3.3 水沙年际变化

饶河流域干支流径流量、输沙量年际变化明显(见表3),2000-2009年间径流量、输沙量比往年年份偏小较多,尤其是输沙量,1998年大洪水后急剧减少,输沙量比多年均值偏少56.6%~62.5%。各河流泥沙较大发生年份主要是1954年、1973、1995和1998年等典型大洪水年,(见图2),1998年是饶河干流及昌江输沙量是近60多年的峰值,而乐安河和东大河输沙量峰值则分别出现在1995、1973年;饶河干支流最小年输沙量均出现在2000年后,为

2005 或 2007 年。从表 4 和图 2 也可看出, 饶河干支流
 产沙量年际变化基本同步, 表明饶河流域由降水
 产生的径流对输沙量影响显著, 但各河流年输沙量

极值比在 17.7~43.7 之间, 而年径流量极值比仅在
 3.8~6.4 之间, 即输沙量年际变化幅度比径流量更
 大些。

表 2 鄱阳镇断面、渡峰坑、虎山及东大河水文站多年平均径流量、输沙量年内分配

Tab.2 Distribution of multi year average runoff and sediment transport at Poyang town, Dufengkeng, Hushan and Dongdahe Stations (%)

站名/地名	项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
鄱阳镇	径流量	3.2	5.1	10.5	15.4	14.4	18.6	14.5	6.3	3.7	2.8	2.9	2.6
	输沙量	0.8	2.3	7.3	13.9	17.5	35.1	16.2	3.9	1.1	0.7	0.8	0.5
渡峰坑	径流量	2.2	3.9	9.0	13.7	17.6	23.0	16.3	6.5	2.6	2.1	1.8	1.5
	输沙量	0.5	1.4	4.5	11.4	16.5	36.6	21.9	5.7	0.6	0.5	0.3	0.1
虎山	径流量	2.8	4.6	9.7	14.5	18.3	22.0	13.1	5.2	3.0	2.3	2.4	2.2
	输沙量	0.7	2.1	7.5	13.5	16.5	36.2	17.7	3.1	0.7	0.7	0.7	0.5
东大河	径流量	3.5	5.2	9.7	13.4	16.3	20.7	10.2	5.7	4.5	3.4	3.6	3.4
	输沙量	1.1	3.2	9.0	16.3	19.2	32.8	10.3	3.3	1.9	0.9	1.2	0.8

表 3 鄱阳镇断面、渡峰坑、虎山及东大河水文站
 各年代径流量、输沙量统计

Tab.3 Runoff and sediment transport in different decades at
 Poyang town, Dufengkeng, Hushan and Dongdahe Stations

站名/ 地名	项目	1970 年前	1970 年代	1980 年代	1990 年代	2000 年后
鄱阳镇	径流量/亿 m ³	223.6	237.4	225.5	287.4	211.5
	输沙量/万 t	214.4	253.6	210.3	330.6	156.7
渡峰坑	径流量/亿 m ³	40.5	46.6	46.7	60.2	39.3
	输沙量/万 t	43.1	46	36.1	76.4	29.4
虎山	径流量/亿 m ³	71.8	73.3	67.5	91	62.3
	输沙量/万 t	44	62	55.6	98.3	55.1
东大河	径流量/亿 m ³	68.5	72	68	79	71.2
	输沙量/万 t	94.6	104.8	83.8	90.1	40

绘制鄱阳镇断面径流量、输沙量差积曲线图(见
 图 3), 进一步说明饶河流域径流、产沙的连丰、连枯
 时段变化特征。饶河干流径流、产沙年际变化基本
 同趋势, 连续 2 年以上丰或偏丰年有 1952-1955,
 1969-1970, 1992-1993 年和 1997-1999 年 4 个
 丰水年组, 连续时段长 2~4 年; 连续 2 年以上枯或
 偏枯年有 1959-1965, 1978-1979, 1981-1982,
 1984-1986, 1990-1991, 2000-2001 年和 2004-
 2009 年 7 个枯水年组, 连续时段可长达 7 年。因此
 饶河流域连续枯水年组的几率大于连续丰水组的,
 29 年的枯水年中连续枯水年出现 24 年, 连续枯水
 年出现的概率达 82.8%, 易出现严重的连续干旱。
 饶河干流径流、输沙差积曲线变化过程显示该流域

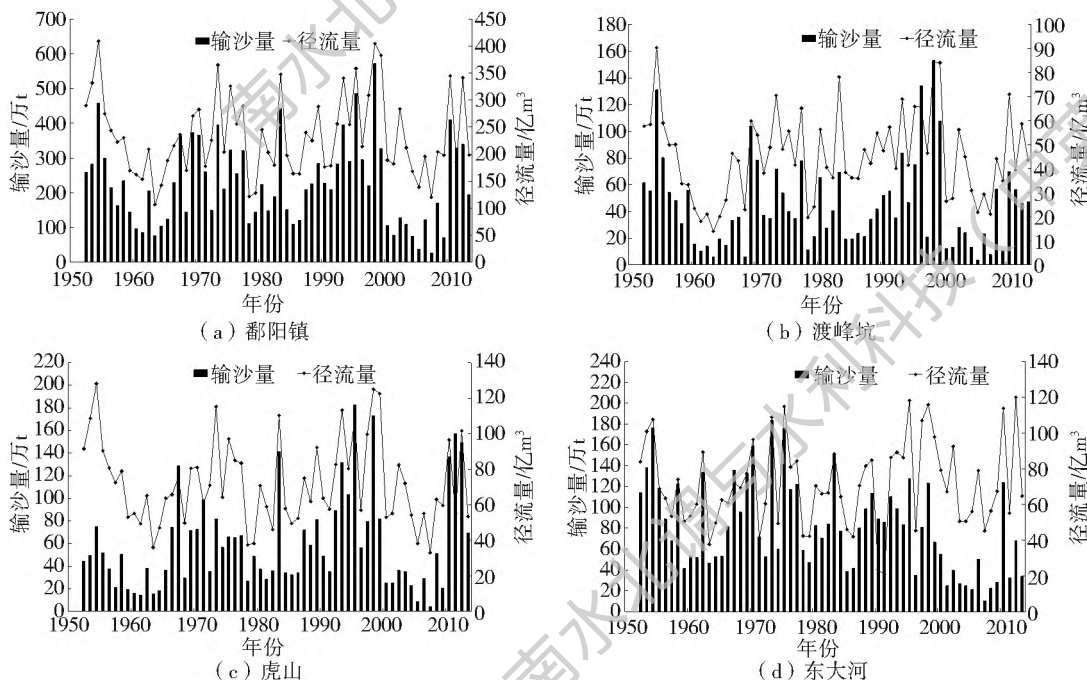


图 2 1952-2014 年饶河流域干支流径流量和输沙量

Fig.2 The runoff and sediment transport of Raohe River basin in 1952-2014

表 4 鄱阳镇断面、渡峰坑、虎山及东大河水文站径流量、输沙量极值比统计

Tab. 4 The extremes ratios of runoff and sediment transport at Poyang town, Dufengkeng, Hushan and Dongdahe Stations

站名/地名	最大年				最小年				径流量 极值比	输沙量 极值比
	径流量/亿 m ³	对应年份	输沙量/万 t	对应年份	径流量/亿 m ³	对应年份	输沙量/万 t	对应年份		
鄱阳镇	410	1954	571.8	1998	106.6	1963	26.6	2007	3.8	21.5
渡峰坑	89.6	1954	153.1	1998	13.9	1963	3.5	2005	6.4	43.7
虎山	128	1954	182.9	1995	33.1	2007	4.3	2007	3.9	42.5
东大河	120.2	2012	183.7	1973	20.6	1991	10.4	2007	5.8	17.7

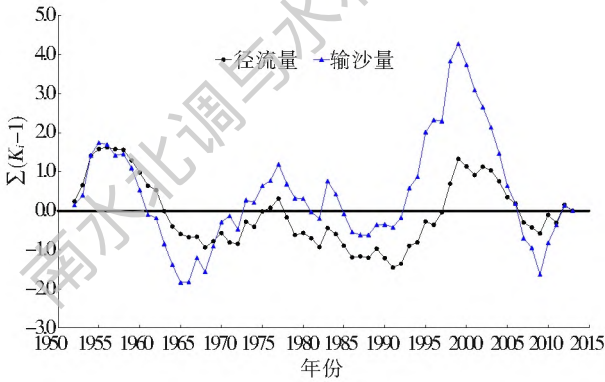


图 3 饶河干流年径流量、输沙量系列差积曲线

Fig. 3 Difference accumulation curve of annual runoff and sediment transport of Raohe River

水文循环周期约为 20 年。

饶河干流 20 世纪 90 年代降水量比多年均值多 21.2%，而输沙量却比多年平均值多 41.8%，表明饶河流域 20 世纪 90 年代输沙量较以往年份的大。饶河干流及支流昌江、东大河 2000 年后与 1970 年前径流量年相当，但年输沙量偏少 26.9%~57.7%。

3.4 水沙关系

流域水沙特性的系统变化一般可以通过水沙双

累积曲线斜率的变化表现出来，将鄱阳镇、渡峰坑、虎山和东大河水文站近 60 年来的年径流、年输沙实测资料点绘出年径流和输沙的双累积曲线(见图 4)可以看出：鄱阳镇、渡峰坑、虎山站双累积曲线总体变化趋势基本一致，斜率到 1998 年有了轻微的减小(向径流轴偏转)，说明饶河支流中的昌江、乐安河径流量、输沙量年际丰、枯变化基本一致，且三河输沙量从 1998 年开始有所减小；东大河站双累积曲线在 1998 年以前基本呈一条直线，1998 年以后斜率明显减小，说明饶河流域 1998 年后输沙量减小显著；饶河干流 1999-2014 年 16 年累积减少输沙量 1 217.6 万 t，平均每年减少 76.1 万 t 输沙量。

径流携带泥沙是河流系统的客观现象，径流量的大小是输沙量变化的主要因素之一。近 60 年饶河干流及其支流昌江、乐安河径流量、输沙量年际变化较大，但年径流序列没有显著的趋势和跳跃性，未来仍可能表现为较强的随机性(这与张静文等人研究结论基本一致^[24])，而信江东大河输沙量呈现显著的减少趋势，跳跃点在 1998 年。

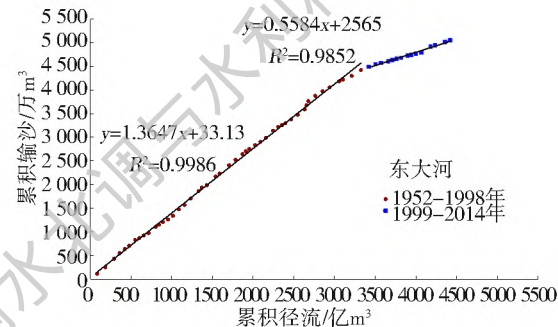
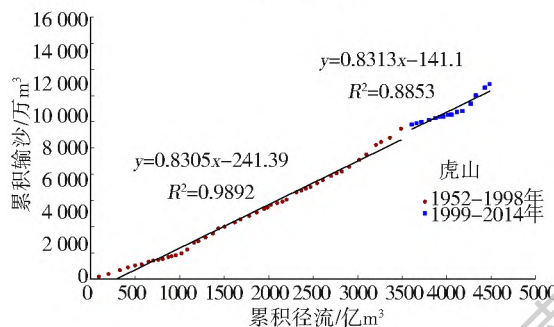
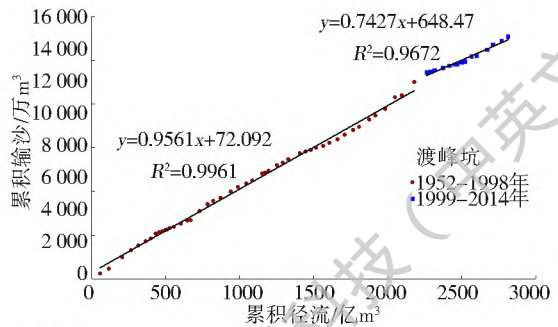
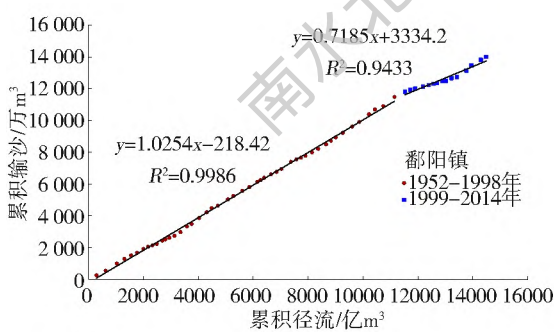


图 4 1952-2014 年饶河流域干支流水沙双累积曲线

Fig. 4 The double mass curves of runoff and sediment transport in Raohe River basin

3.5 径流泥沙变化的影响因素分析

自然和人类活动是影响流域水沙变化的两个主要因素。自然因素主要为地形地貌、土壤和气候等；人类活动因素主要为修建水利枢纽蓄水拦沙、进行河道整治、水土保持、取水采沙等。在这些影响因素中，地形地貌、土壤因子相对稳定^[5]，对近几十年来流域产水产沙的影响较小。

饶河流域1952—1998年水沙年际变化一致，丰水多沙、枯水少沙相关性较好。2000年之前，人类活动干扰较弱，径流泥沙相关性良好，而后水沙的年际变化不甚一致，表现为同一径流量条件下的输沙量偏小。饶河流域植被盖率较高，水土流失不甚严重，水土流失面积仅占流域面积的9%^[25]。近几十年来，在流域内兴建水利工程、进行流域综合整治等已改变了河流天然的水沙规律，径流量与输沙量的年际变化发生了明显改变，如1998年以来，江西省对水土保持生态建设力度的加大、1998年界牌水利枢纽建成蓄水、2005年信州水利枢纽的建成均对饶河水沙关系产生了一定影响。

4 结论与讨论

(1) 昌江、乐安河、信江东大河是饶河的三大主要支流，三支流的水沙占比较为接近，分别在19.4%~30.9%和19.6%~35.7%之间。

(2) 饶河流域径流年内分配极不均匀，汛期3—8月份来水占全年总量79.8%，而输沙量占比高达93.9%，水沙关系呈现出“大水多沙，小水少沙”的态势，泥沙主要集中在主汛期，月最大输沙量与基本洪水对应，悬移质泥沙的输移主要以较强的水流动力为载体。

(3) 饶河流域径流量、输沙量年际变化较大，干流年径流量极值比为3.8，输沙量极值比为21.5，而支流中极值比最大的昌江径流量、输沙量极值比可分别达到6.4和43.9，饶河流域水文循环周期约为20年。

(4) 饶河流域径流量不存在显著的趋势和跳跃性，未来径流呈现随机性。1998年以来，饶河流域年输沙量总体呈下降趋势，其主要原因是上游水利工程的修建、流域综合治理及水土保持生态建设等，河道水质清澈，大部分泥沙在库内淤积，下泄沙量变小，考虑到饶河流域兴建水利工程、进行水土流失治理等因素，预计未来流域输沙量会进一步减少。

参考文献(References):

[1] GAO J H, XU X A, JIA J J, et al. A numerical investigation of fresh

water and sediment discharge variations of Poyang Lake catchment over the last 1000 years[J]. The Holocene, 2015, 25(9): 1-13. DOI: 10.1177/0959683615585843.

[2] MILLIMAN J D. Blessed dams or damned dams[J]. Nature, 1997, (386): 325-327.

[3] WALLING D E. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers[J]. Geomorphology, 2006, 79(3/4, SI): 192-216. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.06.019.

[4] 莫明浩, 杨筱筱, 肖胜生, 等. 鄱阳湖五河流域入湖径流泥沙变化特征及影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 197-203. (MONG M H, YANG X X, XIAO S S, et al. Analysis runoff and sediment change characteristics and influence factors of Poyang Lake Five Rivers Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 197-203. (in Chinese)) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2017.05.031.

[5] 郭鹏, 陈晓玲, 刘影. 鄱阳湖湖口、外洲、梅港三站水沙变化及趋势分析(1995-2001年)[J]. 湖泊科学, 2006, 18(5): 458-463. (GUO P, CHENG X L, LIU Y. Analysis in runoff and sediment changes transportation in Hukou, Waizhou and Meigang stations of Poyang Lake during 1995-2001[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(5): 458-463. (in Chinese))

[6] 齐述华, 熊梦雅, 廖富强, 等. 人类活动对鄱阳湖泥沙收支平衡的影响[J]. 地理科学, 2016, 36(6): 888-894. (QI S H, XIONG M Y, LIAO F Q, et al. Impact of human activities on sediments budget in Poyang Lake[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(6): 888-894. (in Chinese)) DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.06.011.

[7] 韩建军, 卢静媛, 吴选明. 江西信江流域水沙特性分析[J]. 水利水电快报, 2017, 38(9): 18-21. (HAN J J, LU J Y, WU X M. Analysis of water and sediment characteristics in Xinjiang River Basin[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2017, 38(9): 18-21. (in Chinese)) DOI: 10.15974/j.cnki.slsdkb.2017.09.008.

[8] 吴英超, 刘星根, 虞慧, 等. 1957~2014年信江水沙变化特征分析[J]. 江西水利科技, 2016, 42(6): 443-448. (WU Y C, LU X G, YU H, et al. Changing characteristic of runoff sediment of the Xinjiang river from 1957 to 2014[J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2016, 42(6): 443-448. (in Chinese))

[9] 闵騫, 时建国, 闵聃. 1956~2005年鄱阳湖入出湖悬移质泥沙特征及其变化分析[J]. 水文, 2011, 31(1): 54-58. (MING Q, SHI J G, MING D. Characteristics of sediment into and out of Poyanghu Lake from 1956 to 2005[J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(1): 54-58. (in Chinese))

[10] 李微, 李昌彦, 吴敦银, 等. 鄱阳湖近60年天然入出湖径流特征分析[J]. 人民长江, 2015, 46(17): 18-23. (LI W, LI C Y, WU D Y, et al. Analysis on characteristics of natural runoff into and out of Poyang Lake in recent 60 years[J]. Yangtze River, 2015, 46(17): 18-23. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.17.005.

[11] 黄丽虹, 吴敦银, 王鹏. 江西抚河56年径流变化特征研究[J]. 人民长江, 2012, 43(2): 38-40. (HUANG L H, WU D Y, WANG P. Study on the characteristics of runoff variation in Fuhe River in Jiangxi Province in the past 56 years[J]. Yarr

- gtze River, 2012, 43(2): 38-40. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2012.s2.009.
- [12] 罗蔚, 张翔, 邹大胜, 等. 鄱阳湖流域抚河径流特征及变化趋势分析[J]. 水文, 2012, 32(3): 75-82. (LUO W, ZHANG X, ZOU D S, et al. Analysis of runoff runoff characteristics and trends in Poyang Lake Basin[J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(3): 75-82. (in Chinese))
- [13] 胡菊芳, 赵冠男, 蔡哲, 等. 1953-2011 年信江径流量变化特征及归因分析[J]. 气象与减灾研究, 2014, 37(1): 61-66. (HU J F, ZHAO G N, CAI Z, et al. Variation characteristics and attribution of runoff in Xinjiang drainage basin during 1953-2011 [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2014, 37(1): 61-66. (in Chinese))
- [14] 杨荣清, 胡立华, 史良云. 赣江流域水文特征分析[J]. 水资源研究, 2003, 24(1): 35-40. (YANG R Q, HU L H, SHI L Y. Analysis of hydrological characteristics in Minjiang River Basin[J]. Water resources research, 2003, 24(1): 35-40. (in Chinese))
- [15] 万荣荣, 杨桂山, 王晓龙, 等. 长江中游通江湖泊关系研究进展[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 1-8. (WANG R R, YANG G S, WANG X L, et al. Progress of research on the relationship between the Yangtze River and its connected lakes in the middle reaches[J]. Journal of Lake Sciences, 2014, 26(1): 1-8. (in Chinese))
- [16] 王俊, 郭生练, 谭国良. 变化环境下鄱阳湖水文水资源研究与应用[J]. 水资源研究, 2014, 3(6): 429-435. (WANG J, GUO S L, TAN G L. Research and application of hydrology and water resources under changing environment in the Poyang Lake Basin[J]. Journal of Water Research, 2014, 3(6): 429-435. (in Chinese))
- [17] 叶许春, 刘健, 张奇, 等. 鄱阳湖流域气候变化特征及其对径流的驱动作用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(7): 103-109. (YE X X, LIU J, ZHANG Q, et al. Characteristics of climate variability in Poyang Lake River Basin and its driving effect on runoff [J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2014, 36(7): 103-109. (in Chinese))
- [18] 胡振鹏, 林玉茹. 气候变化对鄱阳湖流域干旱灾害影响及其对策[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 897-904. (HU Z P, LIN Y R. Analysis of relationship between climate change and drought disasters in the Poyang Lake basin study of the drought relief measures [J]. Resources and environment in the Yangtze River Basin, 2012, 21(7): 897-904. (in Chinese))
- [19] 郭华, 苏布达, 王艳君. 鄱阳湖流域 1955-2002 年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系[J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 163-169. (GUO H, SU B D, WANG Y J. Runoff coefficients change and the analysis of the relationship between climate change factors and runoff coefficients in Poyang Basin: 1955-2002 [J]. Journal of Lake Science, 2007, 19(2): 163-169. (in Chinese))
- [20] 罗蔚, 张翔, 邓志民, 等. 近 50 年鄱阳湖流域入湖总水量变化与旱涝急转规律分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(5): 845-855. (LUO W, ZHANG X, DENG Z M, et al. Variations of total runoff into Poyang Lake and drought-flood abrupt alteration during the past 50 years [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2013, 21(5): 845-855. (in Chinese))
- [21] 李云良, 张奇, 李相虎, 等. 鄱阳湖流域水文效应对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(10): 1339-1347. (LI Y L, ZHANG Q, LI X H, et al. Hydrological effects of Poyang Lake catchment in response to climate changes [J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2013(10): 1339-1347. (in Chinese))
- [22] 郭家力, 郭生练, 李天元, 等. 鄱阳湖未控区流域水量平衡分析及校验[J]. 水电能源科学, 2012, 30(9): 30-32, 58. (GUO J L, GUO S L, LI T Y, et al. Water balance analysis and verification of Poyang Lake intervening Basin [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(9): 30-32. (in Chinese))
- [23] 陈华, 郭家力, 郭生练, 等. 统计降尺度方法及其评价指标比较研究[J]. 水利学报, 2012, 43(8): 891-897. (CHEN H, GUO J L, GUO S L, et al. Comparison of different statistical downscaling methods and evaluation indicators in climate change impact on runoff [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(8): 891-897. (in Chinese))
- [24] 张静文, 郭家力, 刘佳, 等. 鄱阳湖流域入湖径流时空变化预测响应[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(5): 41-48. (ZHANG J W, GUO J L, LIU J, et al. Prediction for temporal and spatial variability of Poyang Lake inflow [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(5): 41-48. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtq.2016.05.007.
- [25] 吴新雄, 熊胜文, 等. 江西省饶河流域综合规划修编报告[R]. 江西省水利厅, 2013. (WU X X, XIONG S W, et al. Report on the revision of the comprehensive planning of the Raohe Basin in Jiangxi Province [R]. 2013. (in Chinese))