

三峡工程蓄水运行后新江口水沙特性变化分析

王 琴, 谢静红

长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州
Email: 107491764@QQ.com, 233234763@QQ.com

收稿日期: 2021年9月10日; 录用日期: 2021年10月18日; 发布日期: 2021年10月25日

摘 要

三峡工程蓄水运行后, 随着出库泥沙大幅减少, 造成下游水流挟沙能力处于不饱和状态, 改变了原有河道特性及冲淤变化条件, 水文站测验受到不同程度的影响。本文以荆江三口之一, 松滋新江口水文站为例, 通过蓄水前后新江口站附近河段断面冲淤变化, 测站水沙变化特征分析, 表明三峡工程蓄水运行后, 新江口站水文断面有一定的冲刷, 断面分流比变化不大而分沙比有逐年增加的趋势。

关键词

三峡工程, 清水下泄, 断面冲淤, 水沙变化

Changes of Hydrodynamics and Sediment Transport at Xinjiangkou after Impounding of the Three Gorges Project

Qin Wang, Jinghong Xie

Jingjiang Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, CWRC, Jingzhou Hubei
Email: 107491764@QQ.com, 233234763@QQ.com

Received: Sep. 10th, 2021; accepted: Oct. 18th, 2021; published: Oct. 25th, 2021

Abstract

After the operation of the Three Gorges Reservoir (TGR), the sediment carrying capacity in the downstream flow is in an unsaturated state due to clear water release, which changes the scour and silt characteristics of the original channel. The west branch of Songzi River was selected to analyze the change of scouring and siltation at Xinjiangkou cross-section. The results show that after the impoundment of TGR, the water diversion ratio is changed a little while the sediment diversion ration is increasing annually at the Xinjiangkou cross-section.

作者简介: 王琴, 湖北武汉人, 出生于 1974 年 10 月, 工程师, 研究方向为水文分析计算与技术管理。

Keywords

Three Gorges Reservoir, Release Clear Water, Scouring and Siltation, Water and Sediment Variation Characteristics

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,由于人类活动加剧,长江荆江河段经历了中洲子、上车湾人工裁弯,沙滩子自然裁弯,以及上游兴建了大量的水利水电工程,在一定程度上对荆江三口口门段河道冲淤、水沙特性产生了影响。本文以1955~2020年荆江三口之一松滋口进口新江口水文站实测水沙资料以及口门段1995年以来河道地形测量资料为基础,重点分析了三峡工程蓄水前后的水沙特性及变化趋势,以为松滋河综合整治规划、水文测验方式方法调整提供依据。

2. 新江口站基本情况介绍

松滋河是由松滋口分流入洞庭湖的洪道,系1870年长江大洪水冲击所形成,在松滋口门下游约30 km处的大口分为东、西二支,新江口水文断面为松滋河西支的控制断面。新江口水文站设立于1954年2月,位于湖北省松滋市新江口镇,主要为荆江及洞庭湖防洪、整治等收集和提供水文资料,国家一类精度水文站[1](见图1)。

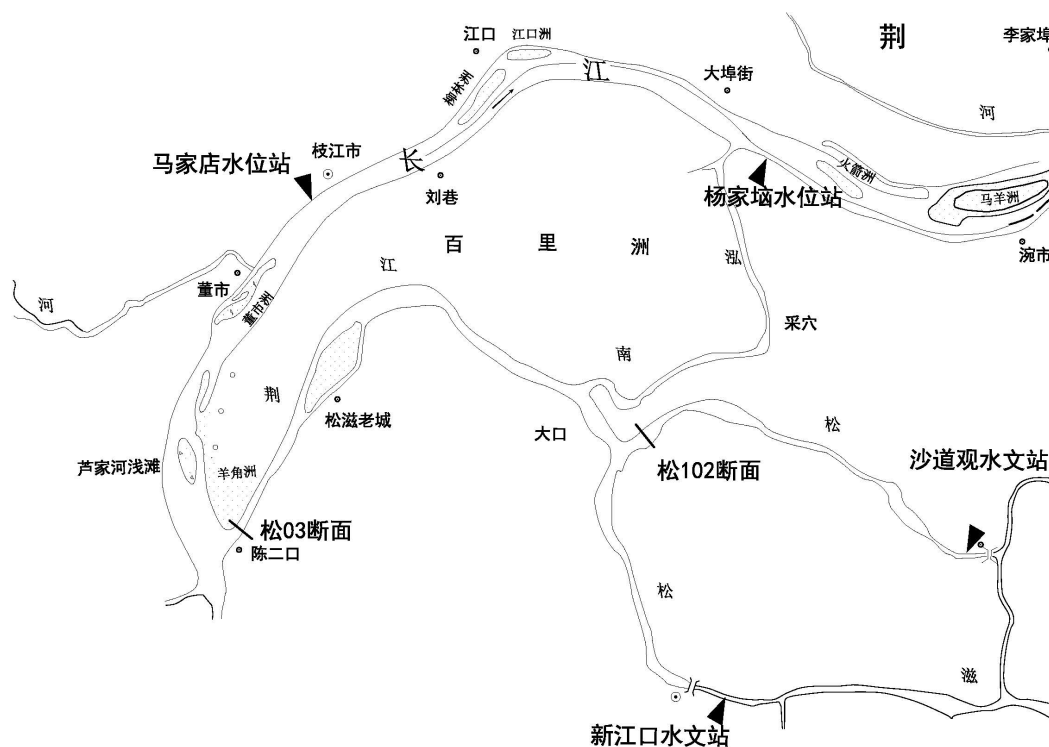


Figure 1. The river regime map of Xinjiangkou hydrologic station

图 1. 新江口水文站河势图

新江口水文测验断面距松滋口口门42 km,距松滋河东、西支分流的大口12.5 km。断面上游2 km有天星

寺小河汇入，枯水季节对本站水情略有影响；上游 800 m 处有一大弯道，下游 800 m 处亦为弯道，断面上下游 1500 m 范围较为顺直，断面为单式“U”型断面，河床组成主要为砂质[2]。

3. 断面冲淤变化

3.1. 口门段冲淤变化

为研究松滋口口门河段的河道冲淤变化，进一步分析三峡工程蓄水对松滋口进洪能力变化的影响，选取松滋口进口段典型断面松 03、松滋河东支口门附近松 102 断面已有实测资料进行对比分析。进口段断面形态多为不规则的“W”或“U”型，本段为山地和平原结合区，平面形态较为稳定。1998 年大洪水造成松滋口口门发生了较大的冲刷，口门左岸边滩崩退，1996~2000 年崩退约 100 m，口门横向扩大，深槽下切，有利于分流。三峡工程蓄水后，受清水下泄河床冲刷，尤其是 2011 年后人类采砂活动影响，断面深槽大幅下切，松 03 断面最大下切达 17.0 m，松滋口入流条件有所改善。2016~2020 年，断面冲淤变化较小，断面形态总体处于稳定状态[3]。

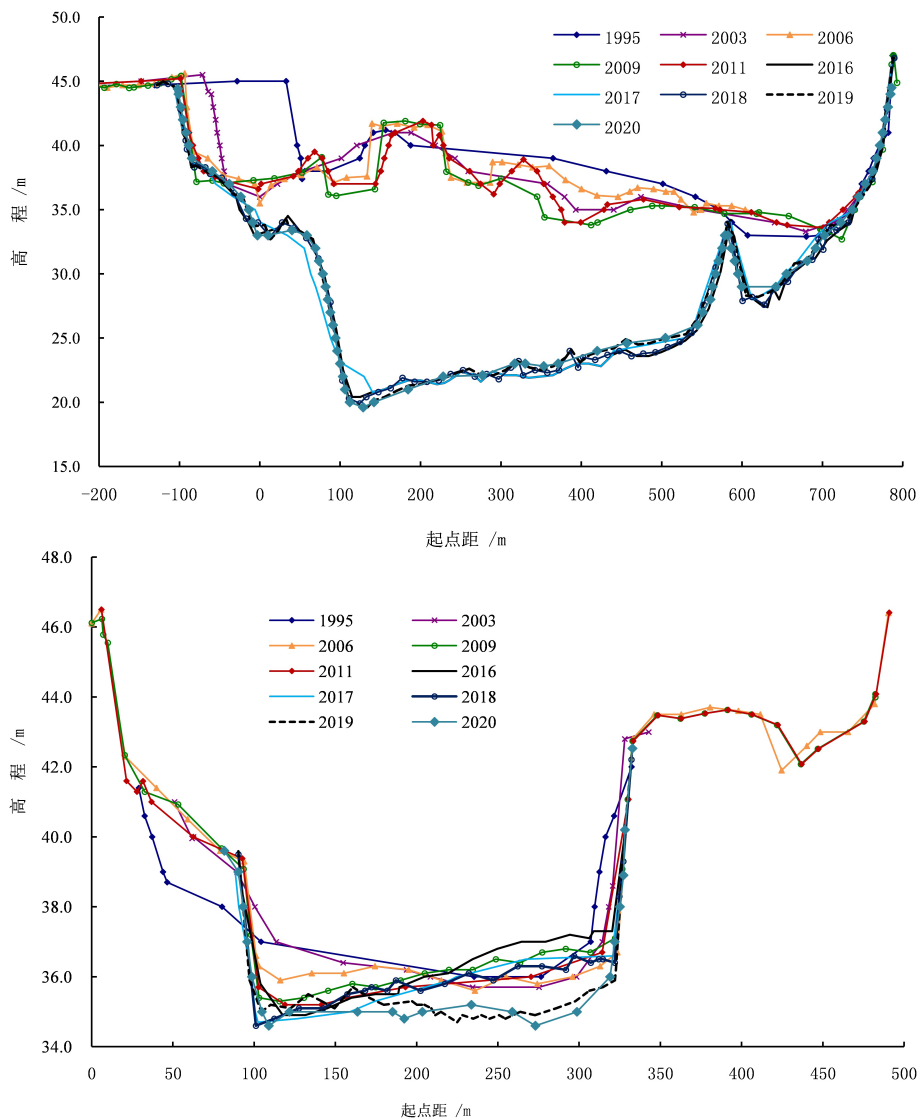


Figure 2. The map of typical Song03 and Song102 Section change from 1995 to 2020

图 2. 典型松 03 和松 102 断面 1995~2020 年变化图

松滋河东西支汉口附近河段断面总体为“U”或不规则的“W”型，本河段两岸均建有堤防，局部河段有护岸工程，岸坡相对稳定，1995年以来表现为冲槽，年际间冲淤有所交替，局部河段岸坡有所崩退。松滋河东支口门附近 2019、2020 年受人类采砂活动影响，断面明显下切(典型松 03 和松 102 断面变化见图 2)。

3.2. 水文测验断面冲淤变化

新江口水文断面位于松滋河口口门以下 42 km，2013 年之前位于基本水尺断面下游 160 m，2014 年测验方式由船测改为水文缆道测验，水文断面上迁至基本水尺断面以下 24 m。

根据新江口水文站 1965 年以来实测大断面资料进行断面冲淤对比分析，1981 年之前边滩部分有明显淤积，主槽冲淤不明显[4] (见图 3)。

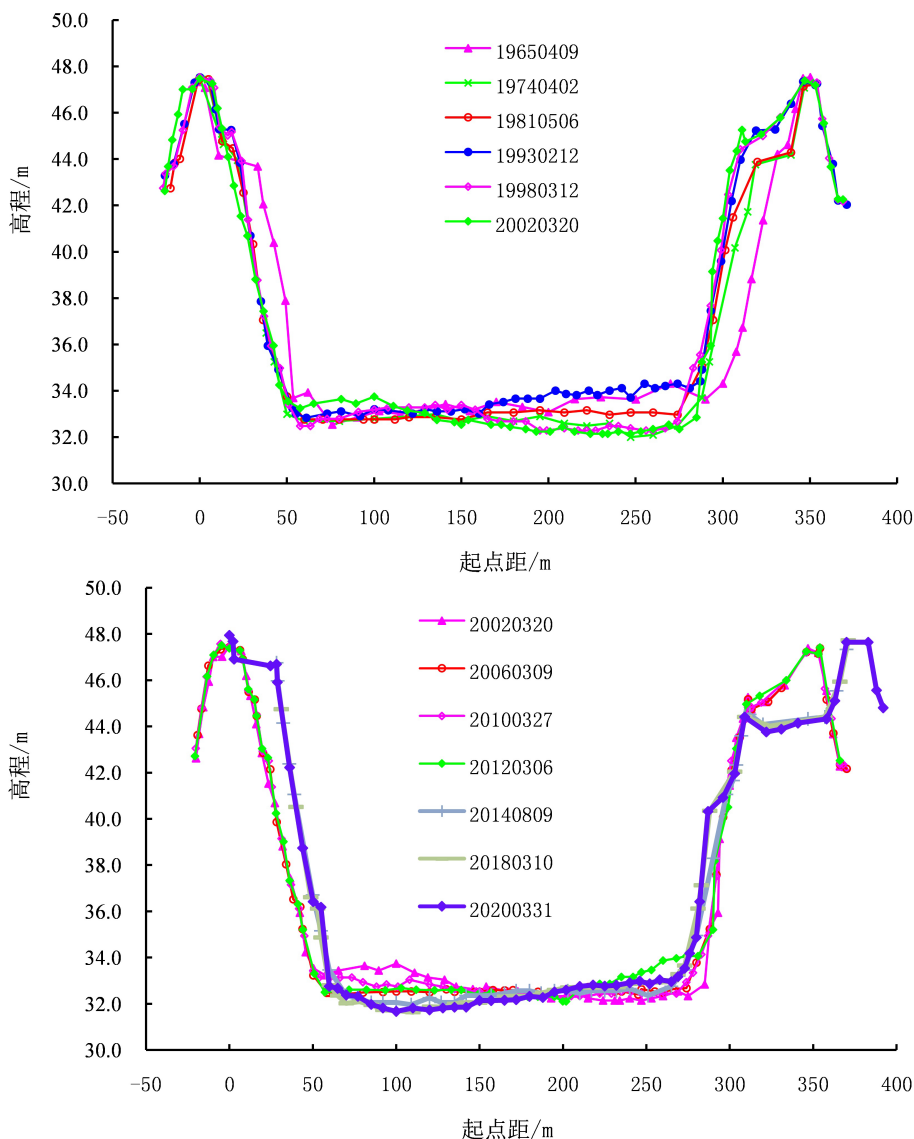


Figure 3. The largest section profiles of Xinjiangkou hydrologic station from 1965 to 2002 and 2002 to 2020

图 3. 新江口水文站 1965~2002 和 2002~2020 年大断面图

2003 年三峡工程蓄水运行后，新江口站断面冲淤变化较小，断面形态较为稳定(见图 3)，2016 年断面发生淤

积主要是口门段大范围受人类采砂活动影响致水沙特性发生变化,断面上游沙洲下移在测验断面附近产生淤积。

选定历年 35.0、40.0、45.0 m 三个同水位级面积点绘过程线图(见图 4),结果表明新江口站同水位下面积变化不明显,三峡工程蓄水之后趋于稳定。

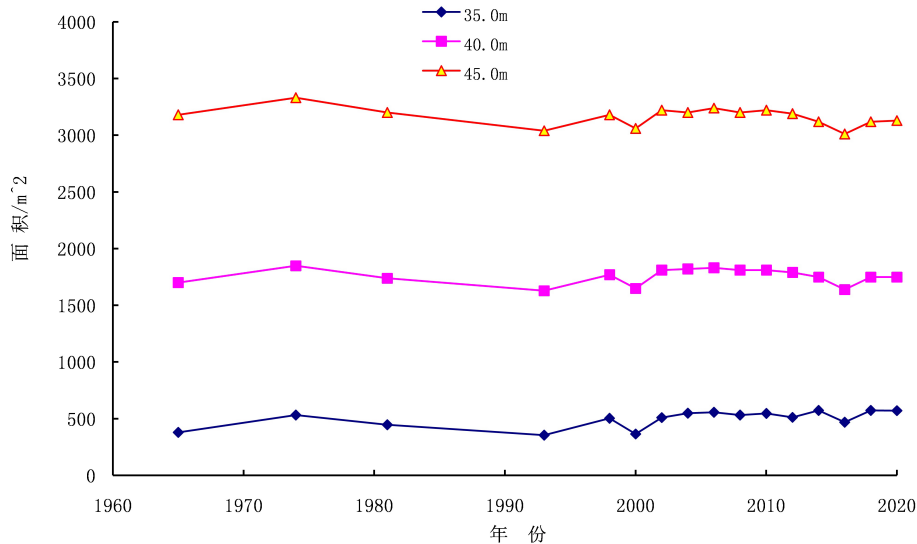


Figure 4. The water level-area relationship of Xinjiangkou hydrologic station
图 4. 新江口水文站同水位 - 面积关系图

分析原因主要是新江口站水文断面年内有一定冲淤变化,断面组成主要为砂质,受不同水流条件会产生一定冲刷和淤积;年际变化不大是因为距离河口较远,其间有采穴河和松滋河东支分流,长江干流河段的冲刷对本站的断面影响不大,同时新江口水文断面上下游紧接弯道,对本站起断面控制作用,使断面各水力因素相对稳定,即使汛期有一定的冲淤,汛后也会恢复。

4. 水沙特性变化

4.1. 年径流量变化

新江口站水文断面的水沙主要构成为长江来水来沙,多年平均径流量为 $293.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。高洪期一般出现在每年的 7~9 月份,其水量约占全年的 61.7%,枯季 1~4、11、12 月水量约占全年的 8% [4]。

统计新江口、枝城(1991 年之前为宜昌 + 长阳,下同) 1955 年以来年径流量并点绘过程线图(见图 5),由资料和过程线图可以看出:三峡工程蓄水后,新江口站与枝城站年径流量均明显减小,但年际变化趋势基本一致,三峡工程运行后,新江口站年径流量减小的主要原因上游来水减小。

4.2. 年输沙量变化

新江口站多年平均输沙量为 $2510 \times 10^4 \text{ T}$,多年平均含沙量为 0.809 kg/m^3 。

据已有资料和过程线图(见图 6)分析,新江口断面输沙量变化大致分四个阶段:一、1980 年葛洲坝截流之前,含沙量、输沙量变化不显著[5];二、葛洲坝截流至 2002 年三峡工程蓄水之前含沙量、输沙量有逐渐减小的趋势,1998 年为长江大洪水特殊水情的影响[6];三、2002 年三峡工程蓄水至 2005 年,含沙量、输沙量逐年显著减小[2];四、2005 年后趋于稳定。

整体来说,三峡工程蓄水后,新江口站年输沙量明显减小,通过与枝城站输沙量变化进行对比分析,新江口站输沙量变化趋势与枝城站变化趋势一致,因此认为新江口站输沙量变化的主要影响因素为三峡工程以上上

游来沙发生变化[7]。

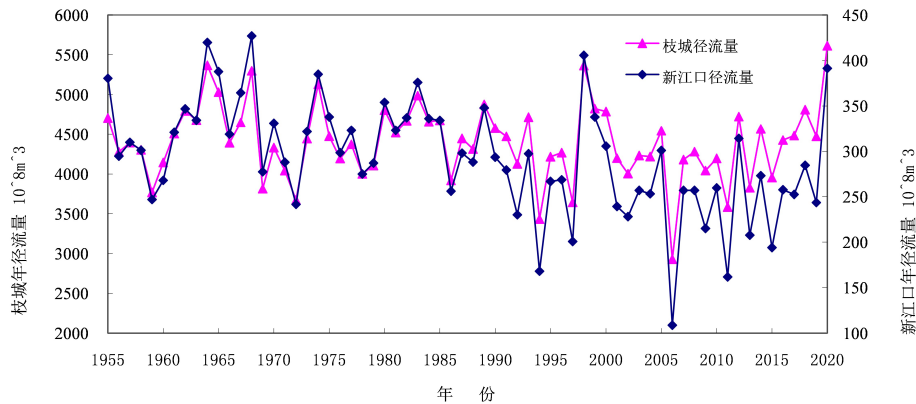


Figure 5. Annual runoff hydrographs at the Xinjiangkou and Zhicheng hydrologic stations
图 5. 新江口和枝城水文站的年径流量过程线图

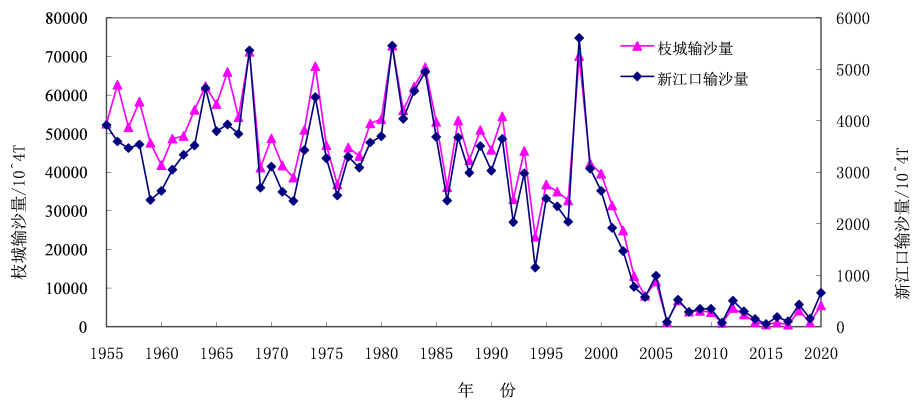


Figure 6. Annual sediment discharge hydrographs at Xinjiangkou and Zhicheng hydrologic stations
图 6. 新江口和枝城水文站年输沙量过程线图

4.3. 分流分沙变化

统计 1955 年以来新江口站占枝城的分流变化情况(结果见表 1)。统计结果表明, 新江口站占枝城多年平均分流比为 6.6%, 在上游来水量基本不变的情形下, 下荆江裁弯前、后直至葛洲坝截流以前, 松滋口占枝城分流量处于稳定状态, 而在葛洲坝截流和三峡蓄水之后的一段时间, 松滋口分流量处于慢速萎缩状态。由于松滋口口门远离下荆江裁弯段, 而靠近上游河段大坝位置, 故而下荆江系统裁弯造成的荆江干流河道冲刷, 同流量水位下降对松滋口分流分沙的影响极小, 而松滋口因受口门下游芦家河浅滩的顶托作用影响, 仍能保持相对稳定的分流。葛洲坝和三峡水利枢纽的兴建, 由于清水下泄坝下游河床的冲刷, 尤其是松滋口口门外干流河床的冲刷对保持松滋口的分流量产生了不利影响[8], 松滋口口门因人类活动采砂以及自然冲刷在成的断面深槽下切, 对增加进洪能力产生了积极影响, 但不足以完全抵消干流河床冲刷造成的不利影响。

松滋河在分流入洞庭湖的同时, 也将部分泥沙输入湖内。1955 年以来新江口站占枝城多年平均分沙比约为 7.7%, 与多年平均分流比相近。

分时段计算 1955 年以来新江口站的分沙变化情况(见表 2)。统计结果表明, 2003 年三峡工程蓄水运行以前, 松滋口分沙比较为稳定, 说明下荆江系统裁弯以及上游干流兴建葛洲坝水利枢纽对松滋口分沙没有产生明显的影响; 而三峡工程蓄水运行后的 18 年, 分沙比逐年增大, 从 2002 年的 5.9% 逐年增大到 12.0% (见图 7)。通过

对枝城、新江口实测含沙量资料分析,分沙比增大的原因是三峡工程蓄水后清水下泄进入松滋口后,引起松滋河口门及沿线河床发生冲刷,含沙量略有增大进而分沙比增大。

Table 1. The mean annual water diversion ratio at Xinjiangkou hydrologic station
表 1. 新江口站分时段多年平均分流统计表

时段	年份	枝城径流量(10^8 m^3)	新江口径流量(10^8 m^3)	分流比(%)
裁弯前	1955~1966	4530	327.4	7.2
裁弯期	1967~1972	4302	321.5	7.4
葛洲坝截流前	1973~1980	4441	322.7	7.3
葛洲坝截流后	1981~2002	4441	291.8	6.5
三峡工程蓄水后	2003~2020	4283	294.3	5.7

Table 2. The mean annual sand division ratio at Xinjiangkou hydrologic station
表 2. 新江口站分时段多年平均输沙量统计表

时段	年份	枝城输沙量(10^4 t)	新江口输沙量(10^4 t)	分沙比(%)
裁弯前	1955~1966	54,600	3490	6.4
裁弯期	1967~1972	49,300	3330	6.7
葛洲坝截流前	1973~1980	49,900	3420	6.9
葛洲坝截流后	1981~2002	45,900	3170	6.7
三峡工程蓄水后	2003~2020	4220	366	10.2

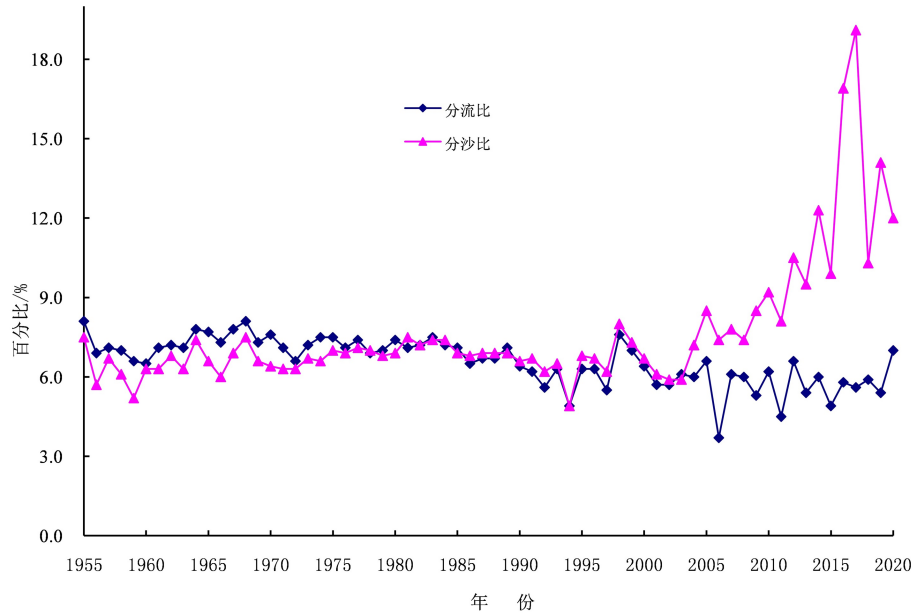


Figure 7. Annual diversion water and sand ratios at the Xinjiangkou (proportion in Zhicheng) hydrologic station

图 7. 新江口(占枝城)水文站历年分流分沙比变化图

4.4. 径流量、输沙量年内分配变化

统计 1955~2020 年间不同特征时间段径流量和输沙量年内逐月变化情况,绘制径流量、输沙量年内分配比

变化过程线图(见图 8)。

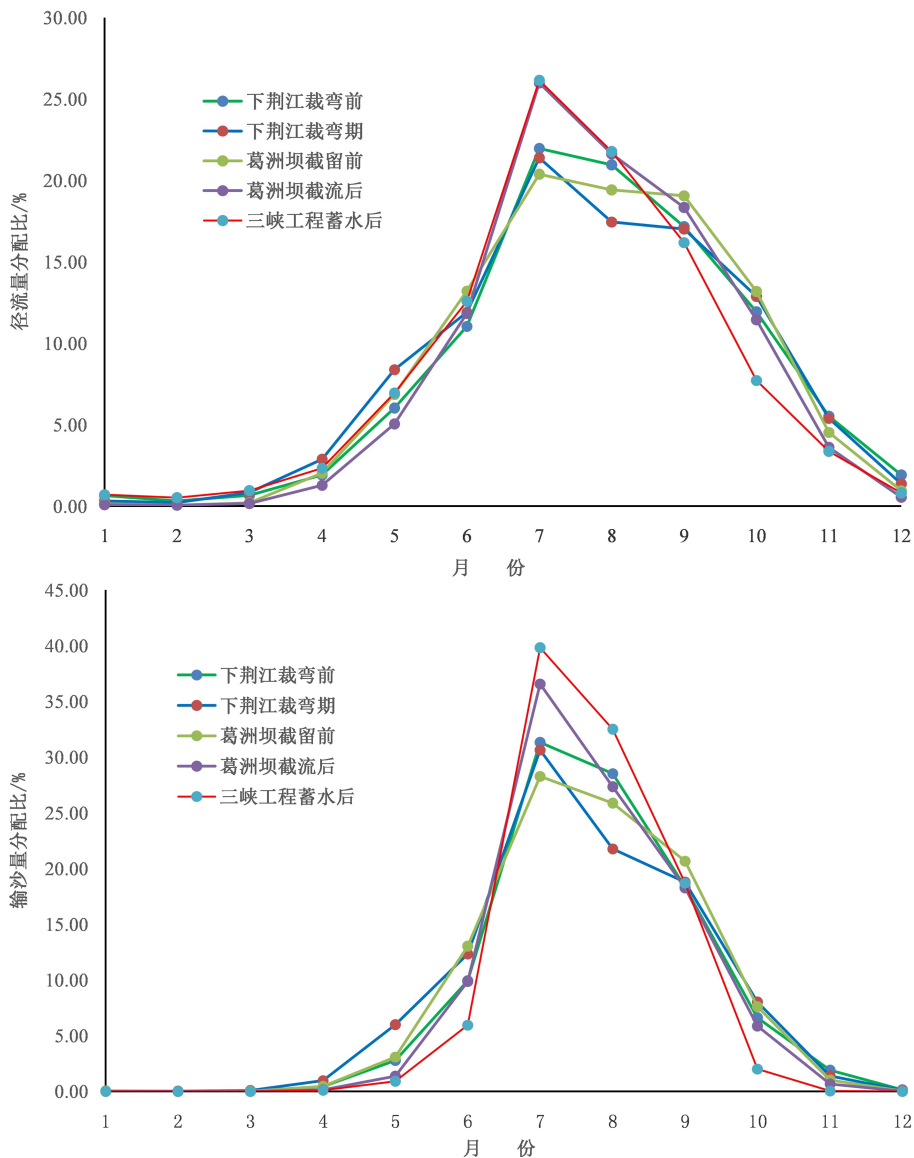


Figure 8. Annual variation of distribution ratios of runoff and sediment transport
图 8. 径流量和输沙量年内分配比变化图

新江口水文站径流量年内主要集中在 6~9 月, 三峡工程蓄水之前的不同特征时段, 当年 10 月至次年 4 月径流量占比逐渐减小, 三峡工程蓄水后, 受三峡工程下半年蓄水枯水期补水的影响, 10~12 月水量分配显著减小, 但 1~4 月水量分配明显增加。输沙量年内分配同径流量一致, 主要集中在 6~9 月, 1955 年以来不同特征时段, 10 月至次年 4 月输沙量分配比呈持续减小的趋势, 三峡工程蓄水后这一趋势尤为明显, 主要原因是上游来沙持续减小的情况下, 10 月至次年 4 月含沙量减小幅度更大, 三峡工程蓄水后更明显。

5. 结论

本文主要是根据新江口水文站在三峡工程蓄水前后的水沙实测资料, 初步分析蓄水前后新江口断面的冲淤变化以及径流量输沙量的变化, 主要结论如下:

1) 三峡工程蓄水前新江口水文断面冲淤变化有冲有淤, 总体略冲, 三峡工程蓄水后, 水文断面冲淤变化较小, 断面形态较为稳定。

2) 三峡工程蓄水运行前, 因上游来水来沙减小, 新江口站年径流量和年输沙量呈逐年减小的趋势; 三峡工程蓄水运行后, 径流量变化不大但输沙量大幅减小; 径流量、输沙量年内分配受三峡工程蓄水影响发生变化。

3) 1998 年之前, 新江口站分流、分沙比呈逐年减小的趋势; 1998 年大水对松滋口口门的冲刷, 分流分沙比明显增大, 至三峡工程蓄水前又逐年减小; 三峡工程蓄水运行后, 长江干流枝城至沙市河段以及松滋口口门附近局部冲刷的影响, 对分流比影响不大, 分沙比显著加大, 在今后一段时期内, 分流比保持稳定但分沙比持续增大。

基金项目

国家自然科学基金联合基金项目(编号: U2040215)。

参考文献

- [1] 胡功宇, 黄火林. 松滋口分流分沙变化分析[J]. 人民长江, 2006, 37(12): 47-48.
HU Gongyu, HUANG Huolin. Analysis of flow and sediment diversion at Songzi River. Yangtze River, 2006, 37(12): 47-48. (in Chinese)
- [2] 李彦彦, 杨贵山, 万荣荣, 等. 1968~2018 年洞庭湖江湖连通工程松滋口冲淤变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(10): 2239-2249.
LI Yanyan, YANG Guishan, WAN Rongrong, *et al.* Channel erosion and depositing of Songzikou Outlet: A river-lake connected channel of Dongting Lake during 1968-2018. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(10): 2239-2249. (in Chinese)
- [3] 毛北平, 梅军亚, 张金辉, 等. 洞庭湖三口洪道水沙输移变化分析[J]. 人民长江, 2010, 41(2): 38-42+46.
MAO Beiping, MEI Junya, ZHANG Jinhui, *et al.* Analysis of water and sediments transportation of three river-outlets flood channels from Yangtze River to Dongting Lake. Yangtze River, 2010, 41(2): 38-42+46. (in Chinese)
- [4] 黄火林, 吴世勇. 三峡蓄水前后新江口水位流量变化分析[J]. 水利水电快报, 2007, 28(12): 22-24.
HUANG Huolin, WU Shiyong. Analysis on the change of water level and discharge of Xinjiangkou hydrologic station before and after Three Gorges impoundment. Express Water Resources & Hydropower Information, 2007, 28(12): 22-24. (in Chinese)
- [5] 卢金友. 荆江三口分流分沙变化规律研究[J]. 泥沙研究, 1996(4): 54-61.
LU Jinyou. Study on laws of runoff and sediment diverted from three outfalls on the Jingjiang Reach of the Yangtze River. Journal of Sediment Research, 1996(4): 54-61. (in Chinese)
- [6] 高耶, 谢永红, 邹冬生. 三峡工程运行前后荆江三口水文情势的变化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2): 479-487.
GAO Ye, XIE Yonghong, ZOU Dongsheng. Hydrological regime changes in the Three Outelets of Jingjiang River before and after the operation of the Three Gorges Project. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(2): 479-487. (in Chinese)
- [7] 许全喜, 胡功宇, 袁晶. 近 50 年来荆江三口分流分沙变化研究[J]. 泥沙研究, 2009(5): 1-8.
XU Quanxi, HU Gongyu and YUAN Jing. Research on the flow and sediment diversion in the three outlets along Jingjiang River in recent 50 years. Journal of Sediment Research, 2009(5): 1-8. (in Chinese)
- [8] 周才金, 沈健, 熊慧, 等. 新水沙条件下三口分流分沙及荆江平滩河槽形态变化分析[J]. 人民珠江, 2020, 41(6): 22-26.
ZHOU Caijin, SHEN Jian, XIONG Hui, *et al.* Analysis of flow and sediment diversion at three outlets and changes on flat beach channel morphology of Jingjiang River under the condition of fresh water and sediment. Pearl River, 2020, 41(6): 22-26. (in Chinese)