

1950 年以来松滋河水沙与河道冲淤变化

陈 帮¹,李志威^{1,2},胡旭跃^{1,2},钟一丹³,谭 岚⁴

(1. 长沙理工大学水利工程学院,湖南 长沙 410114; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室,湖南 长沙 410114;
3. 水利部节约用水中心,北京 100038; 4. 湖南百舸水利建设股份有限公司,湖南 长沙 410007)

摘要:松滋河是连通长江中游(荆江)与洞庭湖的主要通道,1950 年代以来下荆江系统裁弯,葛洲坝枢纽、三峡水库等水利工程相继实施,使松滋河分水分沙呈现阶段性减少。结合水文数据、地形资料和遥感影像,深入分析松滋河 1951—2016 年水沙变化过程,口门区和尾间河段的形态变化,运用网格地形法和断面地形法分别计算 2003—2011 年和 2006—2009 年局部河槽与整体冲淤量变化。结果表明:1951—1980 年,径流量和输沙量变化处在相对稳定状态,1981 年葛洲坝工程之后,松滋河输沙量递减幅度加大,1981—1990 年至 1991—2000 年从 5 098 万 t 减少至 3 611 万 t,减幅约 29.1%;三峡水库蓄水后加速输沙量递减,但延缓径流量的衰减速率;松滋河进口段处在山区-平原过渡段,口门区平面形态变化较小,1987—2018 年松滋河口门区的杨各洲面积减小 0.4 km²,减幅 4.2%。

关键词:松滋河;水沙变化;冲淤量;江湖关系;长江中游

中图分类号:TV147 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2020)05-0024-08

Water-sediment change and channel dynamics of Songzi River since 1950//CHEN Bang¹, LI Zhiwei^{1,2}, HU Xuyue^{1,2}, ZHONG Yidan³, TAN Lan⁴ (1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. Water Conservation Center of Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China; 4. Hunan Bestall Water Conservancy Construction Co., Ltd., Changsha 410007, China)

Abstract: The Songzi River is one of the main channels connecting the middle Yangtze River (Jingjiang) and the Dongting Lake. Since 1950s, hydraulic projects such as artificial cutoffs in the lower Jingjiang River, the Gezhouba Dam, and the Three Gorges Reservoir have been implemented successively, leading to periodic decrease of water and sediment diversion of the Songzi River. Hydrological data, channel topography, and remote sensing imagery were used to analyze the temporal change of runoff and sediment load, channel morphology at the inlet and tail zone from 1951 to 2016. Both grid and cross-section topographical methods were applied to calculate the temporal change of the local erosion and deposition amount from 2003 to 2011 and from 2006 to 2009, respectively. The results show that from 1951 to 1980, the inter-annual changes in runoff and sediment load were relatively stable. After the impoundment of the Gezhouba project in 1981, the amount of sediment load in the Songzi River decreased rapidly, from 50.98×10^6 t to 36.11×10^6 t, about 29.1% from 1981-1990 to 1991-2000. After the impoundment of the Three Gorges Reservoir in 2003, the amount of sediment load was continuously reduced, but the runoff reduction was delayed due to riverbed erosion and increased water level in non-flood seasons. From 1987 to 2018, the area of the Yanggezhou Island at the inlet zone of the Songzi River decreased by 0.4 km² with a reduction rate of 4.2%, but the variation of the channel morphology of the inlet zone was little.

Key words: Songzi River; water and sediment change; erosion-deposition amount; river-lake relation; middle Yangtze River

长江中游的三口河道(松滋河、虎渡河和藕池河)共同组成的平原河网连通荆江与洞庭湖,其中松滋河是连通长江与洞庭湖的主要水流通道的一个,位于湖北省南部与湖南省北部,北连长江,东邻虎渡河,南入澧水尾间。1870 年松滋县黄家铺、庞家湾等干堤溃口形成松滋口,堵口后修筑不牢,1873 年长江中游发生极端洪水,强烈冲刷导致江堤复溃,形成松滋河水系^[1]。松滋河于大口处分东西两支,

基金项目:国家自然科学基金(51709020);湖南省科技重大专项(2018SK1010);港口航道泥沙工程交通行业重点实验室开放基金(2018GKHD06)

作者简介:陈帮(1994—),男,硕士研究生,主要从事河流动力学研究。E-mail: chenbang94@163.com
通信作者:李志威(1984—),男,副研究员,博士,主要从事河流动力学研究。E-mail: lzhiwei2009@163.com

西支为主流,东西两支分别南下汇入澧水。松滋河历史演变经历发展、稳定、衰退 3 个阶段^[2]。1950 年之后松滋河进入全面衰退期,1958 年华容河的调弦口堵口、下荆江系统裁弯、葛洲坝枢纽建成和三峡水库蓄水等大型水利工程建设,加速其分水比减少、河道淤塞和河槽萎缩^[3-6]。

国内外对三口河水分沙的变化特征及水沙变化的驱动力分析已有较多研究报道,关于荆江三口分流分沙比变化的原因,至今还存在着较大争议。早期,单剑武^[7]指出影响荆江四口分流分沙主要是口门河势变化,而卢金友^[8]认为分流口门与干流的相对位置、口门附近干流河势变化、分流道的冲淤变化为主要影响因素,下荆江裁弯工程只加速三口分流递减的进程。方春明等^[9]分析表明,三口河道淤积萎缩、分流分沙急剧减小的主要驱动力是下荆江裁弯后水位的下降。随后,李景保等^[10-11]指出长江中游调弦口堵口、下荆江系统裁弯、葛洲坝截流是导致洞庭湖来水来沙缓减的主动因子。三峡工程蓄水是加速分流分沙比下降还是减缓水沙变化趋势目前还存在一定争议^[12-19],荆江三口水沙演变主要驱动原因和未来演变趋势需进一步研究。

荆江三口水沙交换是荆江-洞庭湖关系(简称江湖关系)演变的主要驱动力,而松滋河与荆江的纽带关系是江湖关系的重要组成部分之一^[20-23]。下荆江裁弯前 1956—1966 年松滋河、藕池河和虎渡河多年平均径流量占三口径流总量的百分比分别为 36.4%、47.8% 和 15.8%,葛洲坝截流前 1973—1980 年分别为 51.2%、29.6% 和 19.2%,三峡水库蓄水后 2003—2008 年分别变化为 59.0%、22.1% 和 18.9%。可见,松滋河在三口分水的比重愈加凸显,未来一定时期内其分水分沙在三口河道中将处于主导地位^[24]。因此研究松滋河分水分沙和冲淤变化,对揭示江湖关系的新变化、洞庭湖区北部防洪安全及水资源综合利用等具有重要的科学和实践意义。本文基于新江口与沙道观水文站的水文数据,分析多年平均输沙量、多年平均径流量、分水分沙比及断流天数。利用 Landsat 系列遥感影像与 Google Earth 影像分析松滋河口门区及其沙洲平面形态。采用网格分析法与断面分析法,计算松滋河 2003—2011 年各河段冲淤量,以此揭示松滋河 1950 年以来河道演变规律。

1 研究河段与数据来源

1.1 研究河段

松滋河是长江中游向南分水的一个重要泄洪通道(图 1),松滋口至大口为松滋河主流,长 25.0 km。松滋河至大口后分为东西两支,东支自大口经沙道

观、中河口,与中支于小望角汇合,全长 120.0 km。西支自大口经新江口、苏支河出口、青龙窑于张九台和中支汇合,西支全长 118.5 km。西支在青龙窑处分水,右侧一支为松滋河中支全长 34.5 km,自青龙窑经张九台于小望角和东支汇合。松滋洪道从小望角于松滋河与虎渡河交汇处全长 21.5 km,松虎洪道接松滋洪道继续南下与澧水汇合,全长 30.0 km。采穴河连通松滋河主支与荆江,全长 20.0 km,2018 年 12 月测量平均水面河宽为 85 m。松滋河东西两支由莲支河、苏支河、瓦窑河相连通,分别长 6.5 km、10.0 km 和 7.0 km。从 Google Earth 观察莲支河已进行人工封堵,其他两支处于自然连通状态。莲支河入口经东支南下 7.0 km,分为两支,左侧一分支为官支河全长 24.0 km。

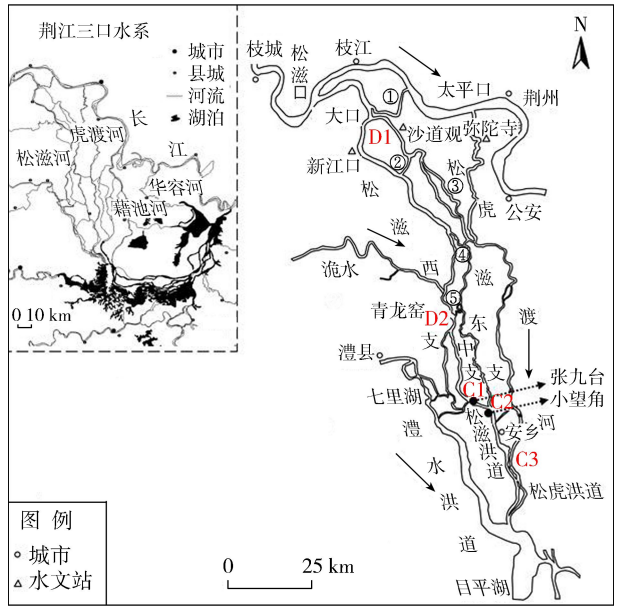


图 1 长江中游松滋河位置及其水系分布

松滋河有 2 个主要的分水点和 3 个汇流点(图 1),D1 位于大口为东支与西支的分水点,距松滋口 25.0 km。瓦窑河与西支交汇处往南 4.5 km 为松滋河西支与中支分水点 D2。C1、C2 分别位于张九台和小望角,为西支与中支、中支与东支的交汇点,相距 7.6 km。小望角沿松滋洪道往南 21.5 km 即是松滋河与虎渡河的汇流点 C3。松滋河设有新江口与沙道观两个水文站,新江口布置于松滋河西支,沙道观布置在松滋河东支。

1.2 地形、水文数据和计算方法

松滋河的河道地形采用长江水文局 2003、2006、2009 和 2011 年 4 年实测数据。冲淤量计算同时采用网格地形法与断面地形法^[25]。根据获取的地形数据特点,利用 Surfer 11 创建松滋河 2003 年、2011 年局部河段数字高程模型(DEM),根据 Trapezoidal Rule、Simpson's Rule、Simpson's 3/8

Rule 分别计算平均高程在 40 m 下分水、汇流河段的冲淤量。测量 2006 年和 2009 年松滋河相邻冲淤断面面积以及间距,采用梯形规则计算相邻断面冲淤量,累计叠加得到河段冲淤量。

采用新江口和沙道观水文测站 1951—2003 年多年平均实测径流数据和输沙量数据,2003—2016 年为逐日平均含沙量、流量及水位,取自于长江水文局。

1.3 遥感数据和处理方法

从 1984—2018 年选取 7 幅遥感影像作为分析对象。其中 1987 年遥感影像资料来自美国 NASA 的陆地卫星 Landsat 8,2014 年、2018 年选用 Landsat 4-5 TM 遥感影像,1984 年、1994 年、2004 年、2014 年选用 Google Earth 遥感影像。Landsat 4-5 TM 影像共包含 7 个波段,波段 6 的空间分辨率为 120 m,为热红外波段,其他波段为 30 m。Landsat 8 共有 11 个波段,波段 8 空间分辨率为 15 m,为全色波段,其余波段的分辨率均为 30 m,Landsat 遥感影像在地理空间数据云网站下载。

松滋河口门区水体信息利用改进的归一化差异水体指数 I 进行提取, $I = (G - M) / (G + M)$,其中 G 为绿光波段, M 为中红外波段^[26]。运用 ArcGIS 融合 Landsat 4-5 TM 第 2、5 波段及 Landsat 8 第 3、6 波段提取目标水体。利用 Google Earth 将戡盘洲及松虎洪道近期平面演变生成 kmz 数据文件,导入 ArcGIS 中经过投影变换后计算相应的平面几何尺寸。

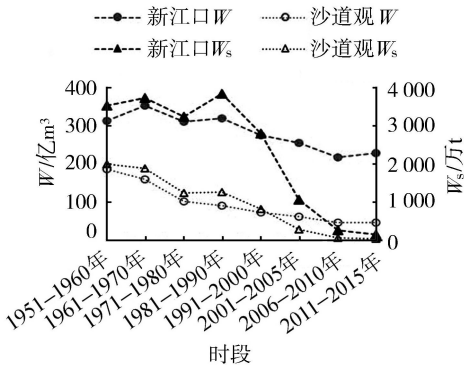
不同的气象和水文条件在较大程度上影响遥感影像的质量,尤其水位的变动对分析平面形态特征影响较大。从湖南水文信息网中得到 2004 年 12 月 4 日松滋河沙道观水位为 34.8 m,2018 年 1 月 9 日为 34.4 m,枯水期水位变动较小。在分析松滋河口门区的形态变化时,选用枯水季节的遥感影像,相对汛期而言,枯水期分析年际变化时一定程度上能够减小因为水位变动对测量造成的误差。对比 2003 与 2011 年地形数据可知,松滋河口门区与戡盘洲河岸坡度较大。综上所述,选用的遥感影像在分析松滋河平面形态变化的年际变化时,具有可比性。

2 研究结果与分析

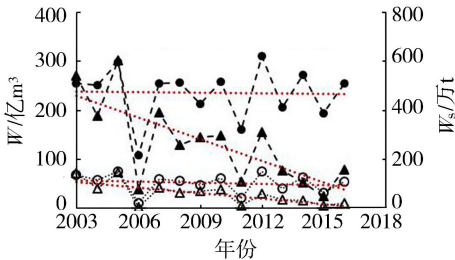
2.1 水文数据分析

图 2 为松滋河新江口站与沙道观站的多年平均与年径流量 W 与输沙量 W_s 时程。图 2(a)表明松滋河新江口站与沙道观站的多年平均径流量与输沙量,整体呈现递减趋势。1981 年之前松滋口新江口站多年平均径流量与多年平均输沙量有增有减,多年平均径流量在整体上维持 300.0 亿 m^3 以上,多年平均输沙量平均为 3500.0 万 t。1961—1970 年至

1971—1980 年新江口与沙道观多年平均径流量分别从 353.0 亿 m^3 、159.0 亿 m^3 降至 311.0 亿 m^3 、102.0 亿 m^3 ,减幅分别为 11.9%、35.8%。多年平均输沙量分别从 3721.0 万 t、1891.0 万 t 降至 3249.0 万 t、1232.0 万 t,减幅分别为 12.7%、34.8%。



(a) 1951—2015 年多年平均径流量与输沙量



(b) 2003—2016 年均径流量与输沙量

图 2 松滋河新江口站与沙道观站的水文数据

1981 年葛洲坝截流之后,松滋口两水文站多年平均径流量与输沙量均大幅度递减,1981—1990 年至 2006—2010 年新江口输沙量呈现断崖式递减,从 3838.0 万 t 降至 264.0 万 t,减幅达到 93.1%。多年平均径流量从 319.0 亿 m^3 降至 218.0 亿 m^3 ,减幅比例为 31.7%,新江口站多年平均径流量的递减幅度小于多年平均输沙量。同期沙道观多年平均径流量与多年平均输沙量分别从 91 亿 m^3 、1260 万 t 降至 47 亿 m^3 、60 万 t,减幅比例分别达到 48.4%、95.2%。这 2 个水文站多年平均径流量与输沙量减幅比例拉大,两站输沙量减幅比例大于径流量减幅比例。

图 2(b)表明三峡水库蓄水后松滋河两个水文站年径流量和年输沙量的变化趋势。分别对两站相关数据变化趋势进行函数线性拟合,得到 2003—2016 年新江口水文站年径流量与年输沙量线性拟合斜率分别为 -0.35 亿 m^3/a 与 -29.45 万 t/a ,沙道观分别为 -0.80 亿 m^3/a 与 -7.49 万 t/a 。两水文站年输沙量递减趋势大于年径流量,新江口年径流量递减速率低于沙道观,而年均输沙量要远大于沙道观。三峡蓄水拦截上游大量泥沙,清水下泄导致新江口输沙量递减幅度持续下降,枯水期三峡水库下泄补水量对维持松滋河径流量的稳定起到积极作用。

以一系列重大水利工程(如调弦口堵口、下荆江系统裁弯、葛洲坝和三峡水库工程)为时间节点统计松滋口水文站(新江口、沙道观)与枝城站的分水比、分沙比(图3)。对比下荆江系统裁弯前后时间段三口河道分水比、分沙比的变化,1956—1966年至1973—1980年新江口水文站分水比与分沙比分别从7.1%、6.2%增加至7.3%、6.7%,同期沙道观水文站分水比与分沙比分别减少1.2%、0.9%。1999—2002年至2003—2016年新江口水文站分水比从6.2%降至5.8%,分沙比从6.6%降至2.4%,同期沙道观水文站分水比与分沙比分别从1.5%、1.6%降至1.3%、0.6%。

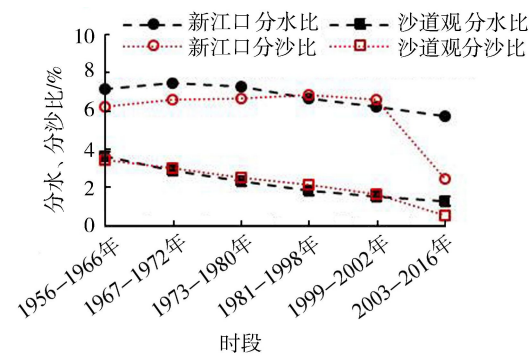
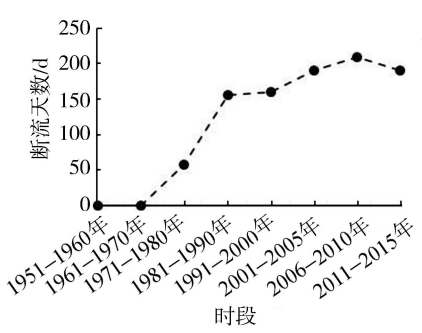


图3 新江口站与沙道观站的分水、分沙比

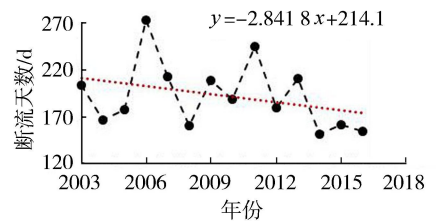
1956—1966年至1999—2002年松滋口分水比、分沙比呈现缓慢递减趋势,分别从10.7%、9.7%降至7.7%、8.2%,分别缩小3.0%、1.5%。1999—2002年至2003—2016年松滋口分沙比从8.2%降至3.0%,分水比从7.7%降至7.0%,分沙比的递减速率远高于分水比。三峡水库蓄水后,较大的影响松滋河两水文站的分沙比,对于分水比的影响较小。

图4(a)统计了沙道观水文站1951—2015年多年平均断流天数。水位在35 m时新江口水文站由于地下水与小溪汇流因素未出现断流现象,而松滋口门处基本断流。1951—1970年沙道观未出现断流现象,1961—1970年至1981—1990年多年平均断流天数增长至155 d。1991—2000年、2001—2005年、2006—2010年断流时间分别为160 d、190 d、209 d,断流天数持续增加,2010—2015年下降至190 d。图4(b)为三峡蓄水后2003—2016年沙道观年均断流天数线性拟合,斜率为-2.8 d/a,表明三峡水库蓄水后,沙道观水文站断流天数整体呈现递减趋势。

统计2003—2018年松滋河两水文站不同流量级别水位的变化。新江口水文站分0~100 m³/s、100~500 m³/s、500~1 000 m³/s、1 000~2 000 m³/s、2 000~3 000 m³/s、3 000~4 000 m³/s共6个流量级别,沙道观水文站因过流能力较小,分为0~100 m³/s、



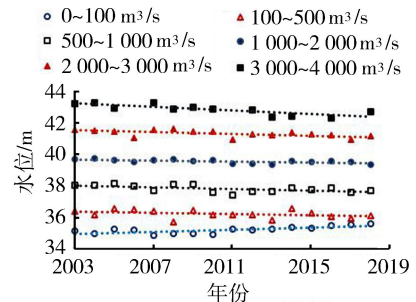
(a) 1951—2015年多年平均断流天数



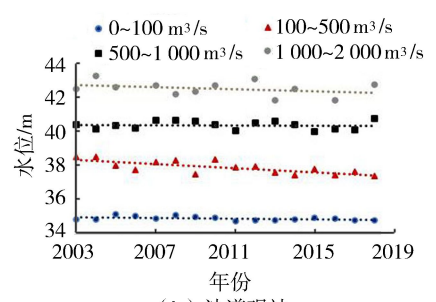
(b) 2003—2016年断流天数

图4 松滋河的沙道观水文站断流天数

100~500 m³/s、500~1 000 m³/s、1 000~2 000 m³/s共4个流量级(图5)。流量在0~100 m³/s时,新江口站水位呈现上升趋势,线性拟合之后斜率为0.03 m/a。其他流量级别下水位都呈递减趋势,其中流量区间在3 000~4 000 m³/s时,斜率最小为-0.06 m/a。沙道观站4个不同流量级别,水位都呈现递减趋势,2003—2018年水位斜率分别为-0.01 m/a、-0.06 m/a、-0.003 m/a与-0.03 m/a。



(a) 新江口站



(b) 沙道观站

图5 2003—2018年松滋河不同流量级别水位变化

2.2 松滋河平面形态变化

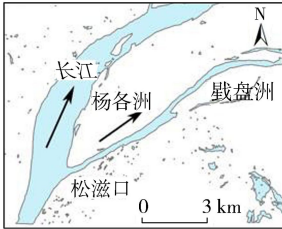
2.2.1 口门区

经过波段融合后,松滋口3期Landsat遥感影像提取的平面形态如图6所示。1987—2004年松滋

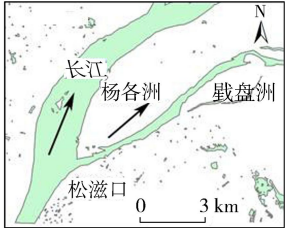
河口门区平面形态变化较小,2004—2018 年口门区有局部冲刷。利用 ArcGIS 经投影坐标转换后测量松滋口杨各洲 1987—2004 年面积减小 0.3 km²,减幅 3%,2004—2018 年面积减少 0.1 km²。测量松滋口至戡盘洲洲头共计 6.1 km 松滋河主流河段的平均河宽,3 年平均河宽分别为 572 m、560 m 和 568 m,整体河宽变化幅度不大。

松滋河口门区右侧为山区,左侧为平原,地处山区与平原的过渡段,特殊的地理位置使松滋河口门区平面形态变化相对较小。而其他两口河道(虎渡河、藕池河)位于平原区,口门区泥沙淤积严重,口门区河道缩减较快。在三口分水整体呈现下降趋势的前提下,松滋河分水量减少的速率低于藕池河,已逐渐成为三口分水的主要通道。

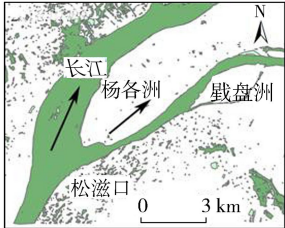
松滋河主流距河口 6.0 km 处分布一个稳定的江心洲(戡盘洲),统计 1984—2014 年戡盘洲每隔 10 a 平面形态变化。2004 利用 ArcGIS 测量得到 1984 年平面形态面积为 3.99 km²,1994 面积增加至 4.13 km²,增幅 3.51%。2004 年与 2014 年平面形态面积分别为 4.44 km²和 4.60 km²,与 1984 年相比增幅分别为 11.3%和 15.3%,戡盘洲洲头逐年向前淤积发展。



(a) 1987-12-06



(b) 2004-12-04



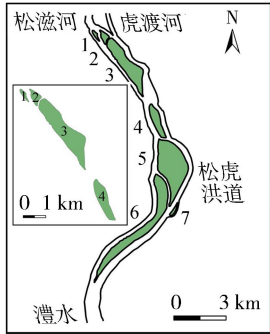
(c) 2018-01-09

图6 基于 Landsat 遥感影像的松滋河口
1987—2018 年平面形态变化

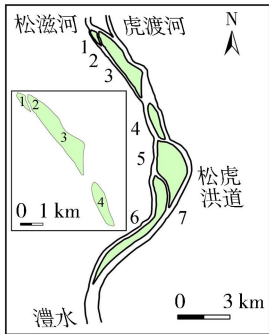
2.2.2 松虎洪道

松滋河与虎渡河汇流之后,松虎洪道沿程长度共计约 20 km,汇入澧水洪道如图 7 所示。1984 年统计松虎洪道共分布 7 个沙洲,自上而下将沙洲编号为 1~7。1984 年 1 号沙洲面积为 0.08 km²,2001 年增加至 0.19 km²,面积增幅达到 137.5%,2016 年增加至 0.26 km²,相比 2001 年增幅 36.8%。1984 年 2、3 号沙洲相互独立,2001 年形成整体,面积从 2.17 km² 增加至 2.34 km²,2016 年面积达到 2.58 km²。1 号沙洲与 2、3 号沙洲之间淤积严重,由

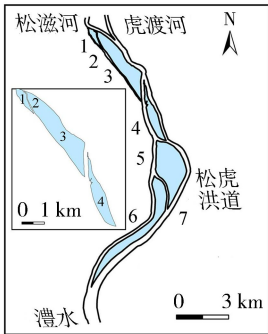
于河道内淤积抬高,部分段沙洲已经与右岸连接,右汊河道淤积废退,分水能力下降。2001—2016 年 4 号沙洲洲头淤积向前发育,其面积由 0.79 km² 增加至 1.08 km²,增幅达到 36.7%。1984—2016 年 5、6 号沙洲平面形态面积变化较小,32 年内增幅分别为 2.5%和 5.6%,其变化相对较为稳定。



(a) 1984-12-31



(b) 2001-12-31



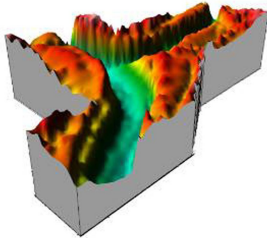
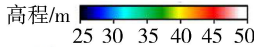
(c) 2016-12-22

图7 基于 Google Earth 遥感影像的松虎洪道
1984—2016 年平面形态变化

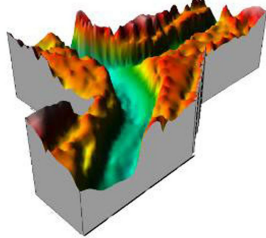
2.3 松滋河河道冲淤变化

2.3.1 2003—2011 年局部河道冲淤变化

a. 松滋河分水河段局部冲淤变化。采用 Surfer 11 创建 2003 和 2011 年松滋河中支-西支、东支-西支(图 8)分水段局部河段的数字高程模型(DEM),利用 Trapezoidal Rule、Simpson's Rule 和 Simpson's 3/8 Rule 3 种方法分别计算 2003 和 2011 年中支-西支分水局部河段体积,2003 年体积分别为 9 170 万 m³、9 180 万 m³和 9 190 万 m³,2011 年体积分别为 9 610 万 m³、9 630 万 m³和 9 610 万 m³;2003—2011 年冲淤变化



(a) 2003 年



(b) 2011 年

图8 松滋河东支-西支分水局部河段的数字高程模型

分别为440万m³、450万m³和420万m³,平均淤积437万m³;松滋河东支-西支分水2003—2011年局部河段冲淤量分别为92万m³、74万m³和108万m³,平均淤积91万m³。

b. 松滋河汇流河段局部冲淤变化。表1(表中“+”为淤积,“-”为冲刷,下同)为采用3种计算方法计算得到的2003—2011年松滋河汇流河段局部冲淤变化。松滋-虎渡河汇流局部河段冲淤变化分别为-157万m³、-174万m³和-163万m³,平均冲刷165万m³;中支-西支汇流局部河段冲淤变化分别为-215万m³、-210万m³、-217万m³,平均冲刷214万m³;中支-东支汇流段局部河段冲淤变化分别为1.96万m³、4.03万m³、10.8万m³,平均淤积5.61万m³。2003—2011年松滋-虎渡河、中支-西支汇流局部河段冲刷,中支-东支汇流局部河段淤积。

表1 松滋河2003—2011年局部河道冲淤变化

		万m ³			
松滋河局部 分流、汇流河段		Trapezoidal Rule	Simpson's Rule	Simpson's 3/8 Rule	平均 冲淤量
分水局 部河段	中支-西支	+440	+450	+420	+437
	东支-西支	+92	+74	+108	+91
汇流局 部河段	松滋-虎渡河	-157	-174	-163	-165
	中支-西支	-215	-210	-217	-214
	中支-东支	+1.96	+4.03	+10.8	+5.61

2.3.2 2006—2009年松滋河各河段冲淤变化

图9分别为松滋河主支、采穴河、西支、东支、中支、松滋与松虎洪道的各测量典型断面2006—2009年冲淤变化。松滋河主支段共分布10个断面,断面间距平均为2.5km,松滋口至15km处,除第2个断面其余都以冲刷为主,15km后3个断面淤积。采穴河分布8个断面,全部为淤积断面。松滋河西支与

东支分别分布45和40个断面,断面平均间距分别为3km和2.6km。西支有10个冲刷断面,35个淤积断面,冲刷断面主要分布上游段。东支分布17个冲刷断面,23个淤积断面,冲刷断面与淤积断面相互交替。中支河段10个断面中,第2、10个断面为冲刷断面,其余为淤积断面。松滋洪道与松虎洪道共分布24个断面,其中9个为淤积断面,15个为冲刷断面,最大淤积面积为524.8m²。

利用断面地形法计算2006—2009年松滋河各河段的冲淤变化。以瓦窑河为界限将东支、西支分为两段进行冲淤量计算,以北河段记为西支1、东支1,以南记为西支2、东支2。西支1与西支2分别淤积448.8万m³、159.1万m³,东支1河段淤积49.4万m³,而东支2河段冲刷79.6万m³。采穴河、官支河、苏支河及瓦窑河2006—2009年分别淤积32.6万m³、9.0万m³、10.7万m³、17.8万m³,中支河段与松滋洪道3年内分别淤积33.9万m³、56.5万m³,主支河段与松虎洪道则分别冲刷43.7万m³和7.7万m³。2006—2009年松滋河共淤积682.7万m³,西支河段淤积量最大,淤积量达607.9万m³,占总淤积量的89%。

根据窦身堂等^[27]、彭玉明等^[28]研究1952—1995年松滋河各河段冲淤量(表2),淤积最多的是松滋河西支的苏支河上口—汇口,东支的大口—苏支河下口,小望角—新开口,冲刷段主要发生在松滋河东支的苏支河下口—小望角。1952—1995年松滋河总淤积(不含主支段陈二口—大口与支叉)5874万m³,平均每年淤积136.6万m³。2006—2009年断面分析法计算得到总淤积682.7万m³,平均每年淤积227.5万m³,1952—1995年与2006—

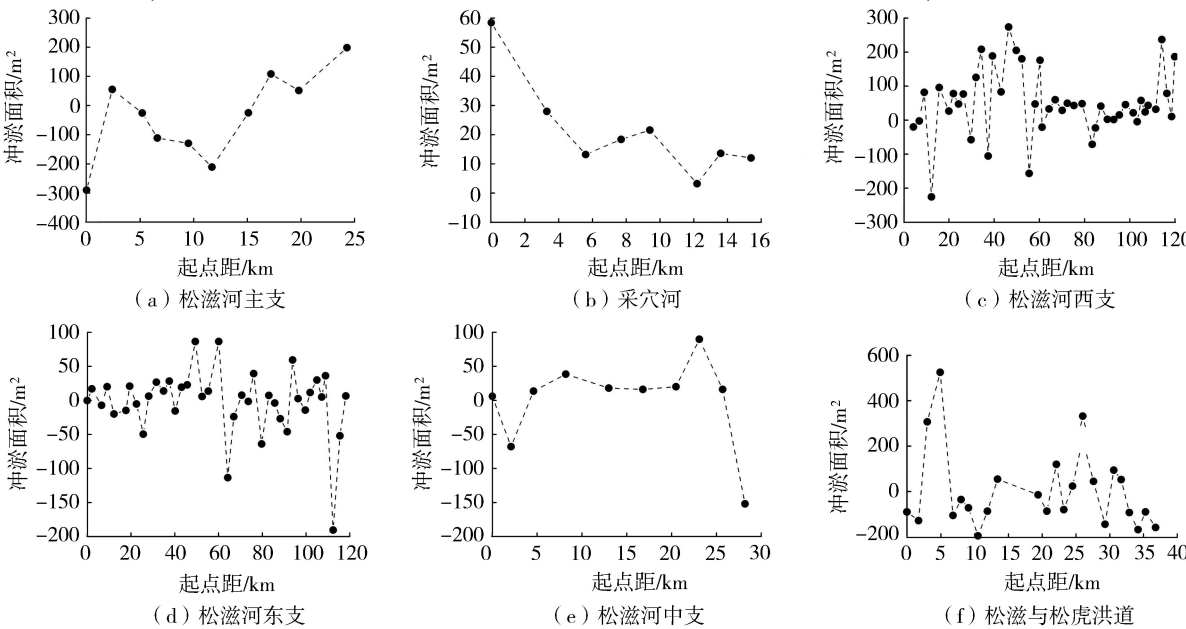


图9 松滋河典型断面年内冲淤变化

2009 年的淤积河段都为西支,中支与东支北段,冲刷河段主要集中在东支南段,冲淤规律较为一致。

表 2 松滋河 1952—1995 年冲淤量计算成果

河段	起止位置	间距/ km	冲淤体积/ 万 m ³	冲淤量/ 万 t
主支	陈二口—大口	24.7		-22.0
西支	大口—苏支河下口	57.3	253	328.9
	苏支河上口—汇口	58.1	2775	3607.5
中支	青龙窑—张九台—小望角	34.5	434	564.2
东支	大口—苏支河下口	55.6	1618	2103.4
	苏支河下口—瓦窑河口	20.8	-1000	-1300.0
	瓦窑河口—小望角	42.9	-1307	-1699.0
	小望角—新开口	20.1	3101	4031.3

3 结 论

a. 1951—1980 年,松滋河径流量和输沙量变化趋势维持相对稳定状态,1981 年葛洲坝截流之后,输沙量递减幅度加大,2003 年三峡水库蓄水后输沙量持续降低,1981—1990 年至 2006—2010 年新江口输沙量递减幅度达到 93.1%,径流量变化趋势较为稳定。1961—1970 年至 1981—1990 年多年平均断流时间增长最快到达 155 d,三峡水库蓄水后,缓解沙道观水文站断流天数递增趋势。

b. 松滋河口门区位于山区、平原地区的过渡段,右岸岸线较为稳定,1987—2018 年松滋河口门区平面形态变化相对较小。1984—2016 年松滋河与虎渡河汇流处沙洲淤积严重,3 个独立沙洲逐渐淤积为整体,右岸河道淤积废退。

c. 三峡水库蓄水后,2003—2011 年松滋河中支-西支、东支-西支分水局局部河段以淤积为主,汇流河段除中支-东支局局部河段淤积外,松滋-虎渡河、中支-西支汇流河段分别冲刷 165 万 m³、214 万 m³。2006—2009 年松滋河整体淤积 682.7 万 m³,西支河段淤积量较大,达到总淤积量的 89%。

本研究受地形数据系列的局限,无法对比三峡工程蓄水前后冲淤变化,只能反映 2003—2011 年与 2006—2009 年三峡蓄水后松滋河短期的冲淤变化,因三峡蓄水后对松滋河的综合影响尚未完全揭示,下一步需要加强对松滋河的水流-泥沙-地形的连续监测、数据挖掘与理论分析。

参考文献:

[1] 陈曦. 宋至清荆江南岸分流四口的演变[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(3):270-274. (CHEN Xi. The evolution of the runoff diversion in the four outlets on the south bank of the Jingjiang River from the Song Dynasty to the Qing Dynasty[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(3):270-274. (in Chinese))

[2] 韩其为,周松鹤. 三口分流河道的特性及演变规律[J].

长江科学院院报,1999,16(5):5-8. (HAN Qiwei, ZHOU Songhe. Characteristics and fluvial processes of diffluent rivers from Yangtze River to Dongting Lake[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1999, 16(5):5-8. (in Chinese))

[3] 孙思瑞,谢平,赵江艳,等. 洞庭湖三口洪峰流量和水位变异特性分析[J]. 湖泊科学,2018,30(3):812-824. (SUN Sirui, XIE Ping, ZHAO Jiangyan, et al. Analysis of flood peak flow and water level variation characteristics of the Three Outlets along Jingjiang River in Dongting Lake[J]. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(3):812-824. (in Chinese))

[4] 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, YUAN Jing. Research on the flow and sediment diversion in the Three Outlets along Jingjiang River in recent 50 years[J]. Journal of Sediment Research, 2009 (5):1-8. (in Chinese))

[5] 马俊超,李琼芳,陆国宾,等. 三峡-葛洲坝梯级水库不同蓄水阶段对其下游泥沙特性的影响分析[J]. 水资源保护,2016,32(1):75-78. (MA Junchao, LI Qiongfang, LU Guobin, et al. Analysis of impacts of different impound phases of Three Gorges-Gezhouba cascade reservoirs on sediment regime in downstream [J]. Water Resources Protection, 2016,32(1):75-78. (in Chinese))

[6] YAN Tao, YANG Yunping, LI Yibing, et al. Possibilities and challenges of expanding dimensions of waterway downstream of Three Gorges Dam[J]. Water Science and Engineering, 2019,12(2):136-144.

[7] 单剑武. 荆江四口分流分沙的演变[J]. 人民长江,1991(3):43-48. (SHAN Jianwu. Evolution on the flow and sediment diversion in the four outlets along Jingjiang River [J]. Yangtze River, 1991(3):43-48. (in Chinese))

[8] 卢金友. 荆江三口分流分沙变化规律研究[J]. 泥沙研究,1996(4):55-62. (LU Jinyou. Study on laws of runoff and sediment diverted from Three Outlets on the Jingjiang reach of the Yangtze River [J]. Journal of Sediment Research, 1996(4):55-62. (in Chinese))

[9] 方春明,曹文洪,鲁文,等. 荆江裁弯造成藕池河急剧淤积与分流分沙减少分析[J]. 泥沙研究,2002(2):40-45. (FANG Chunming, CAO Wenhong, LU Wen, et al. The analysis of Ouchi river's heavy deposit and rapid reduction of discharge and sediment caused by Jingjiang truncation[J]. Journal of Sediment Research, 2002(2):40-45. (in Chinese))

[10] 李景保,吴文嘉,徐志,等. 长江中游荆南三口河系径流演变特征及趋势预测[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(9):1456-1465. (LI Jingbao, WU Wenjia, XU Zhi, et al. Runoff evolution characteristics and future trends in the Three Outlets along Southern Jingjiang River of middle reaches of Changjiang[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(9):1456-1465. (in Chinese))

[11] 李景保,于丹丹,张瑞,等. 近 61 年来长江荆南三口水系连通性演变特征[J]. 长江流域资源与环境,2019,28(5):1214-1224. (LI Jingbao, YU Dandan, ZHANG Rui,

- et al. Evolution characteristics of river network of the Three Estuaries of Southern Jing River in the past 61 years [J], Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(5):1214-1224. (in Chinese))
- [12] 李义天,郭小虎,唐金武,等. 三峡建库后荆江三口分流的变化[J]. 应用基础与工程科学学报,2009,17(1): 21-31. (LI Yitian, GUO Xiaohu, TANG Jinwu, et al. Changes on runoff diversion from Jingjiang reach of the Yangtze River to Dongting lake after the operation of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2009, 17(1):21-31. (in Chinese))
- [13] 穆锦斌,张小峰,许全喜. 荆江三口分流分沙变化研究[J]. 水利水运工程学报,2008(3):22-28. (MU Jinbin, ZHANG Xiaofeng, XU Quanxi. Study on variation of runoff and sediment diversion from Three Outfalls [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(3):22-28. (in Chinese))
- [14] 郭小虎,姚仕明,晏黎明. 荆江三口分流分沙及洞庭湖出口水沙输移的变化规律[J]. 长江科学院院报,2011, 28(8): 80-86. (GUO Xiaohu, YAO Shiming, YAN Liming. Variation of split-flow and sediment diversion at the Three Outlets along Jingjiang River and water and sediment transport at the outlet of Dongting Lake [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(8):80-86. (in Chinese))
- [15] 谢永宏,李峰,陈心胜,等. 荆江三口入洞庭湖水沙演变及成因分析[J]. 农业现代化研究,2012,33(2):203-206. (XIE Yonghong, LI Feng, CHEN Xinsheng, et al. Runoff and sediment discharge into Dongting Lake from Three Channels, Jingjiang River [J]. Research of Agricultural Modernization, 2012, 33(2):203-206. (in Chinese))
- [16] 覃红燕,邹冬生,李峰. 近 50 余年荆江三口水沙变化特征及驱动力分析[J]. 泥沙研究,2013(3):27-33. (QIN Hongyan, ZOU Donsheng, LI Feng. Characteristics of runoff and sediment discharge of Three Channels from Jingjiang River in 1956 through 2009 [J]. Journal of Sediment Research, 2013(3):27-33. (in Chinese))
- [17] 渠庚,刘心愿,郭小虎,等. 三峡工程运用前后藕池口分流分沙变化规律分析[J]. 水利学报,2013,44(9): 1099-1106. (QU Geng, LIU Xinyuan, GUO Xiaohu, et al. Analysis on runoff and sediment diversion of Ouchikou before and after impounding of the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(9): 1099-1106. (in Chinese))
- [18] 胡光伟,毛德华,李正最,等. 荆江三口 60 a 来入湖水沙变化规律及其驱动力分析[J]. 自然资源学报,2014,29(1): 129-142. (HU Guangwei, MAO Dehua, LI Zhengzui, et al. Characteristics and driving factors of runoff and sediment changes fluxes into the Dongting Lake from Three Outlets in Jingjiang River during past 60 Years [J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(1):129-142. (in Chinese))
- [19] 朱玲玲,许全喜,戴明龙. 荆江三口分流变化及三峡水库蓄水影响[J]. 水科学进展,2016,27(6):822-831. (ZHU Lingling, XU Quanxi, DAI Minglong. Runoff diverted from the Jingjiang reach to the Dongting Lake and the effect of Three Gorges Reservoir [J]. Advances in Water Science, 2016, 27(6):822-831. (in Chinese))
- [20] 韩其为. 江湖关系变化的内在机理[J]. 长江科学院院报,2014, 31(6): 104-112. (HAN Qiwei. Variation mechanism of the relation between Jingjiang River and Dongting Lake [J]. Yangtze River Scientific Research Institute, 2014, 31(6):104-112. (in Chinese))
- [21] 万荣荣,杨桂山,王晓龙,等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展[J]. 湖泊科学,2014,26(1):1-8. (WAN Rongrong, YANG Guishan, WANG Xiaolong, et al. Progress of research on the relationship between the Yangtze River and its connected lakes in the middle reaches [J]. Journal of Lake Science, 2014, 26(1):1-8. (in Chinese))
- [22] 李志威,袁帅,朱玲玲,等. 荆江河段 4 次裁弯后干流河道调整研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4): 883-891. (LI Zhiwei, YUAN Shuai, ZHU Lingling, et al. Channel adjustments induced by four meander cutoffs in the middle Yangtze River (Jingjiang reach) [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(4):883-891. (in Chinese))
- [23] OU Chaomin, LI Jingbao, ZHOU Yongqiang, et al. Evolution characters of water exchange abilities between Dongting Lake and Yangtze River [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(4):731-745.
- [24] WANG Xiuying, LI Xiang, BAIYIN Baoligao, et al. Maintaining the connected river-lake relationship in the middle Yangtze River reaches after completion of the Three Gorges Project [J]. International Journal of Sediment Research, 2017, 32(4):487-494.
- [25] 舒彩文,谈广鸣. 河道冲淤量计算方法研究进展[J]. 泥沙研究, 2009(4): 68-73. (SHU Caiwen, TAN Guangming. Advances in calculation methods for river sedimentation [J]. Journal of Sediment Research, 2009(4):68-73. (in Chinese))
- [26] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报,2005(5):589-595. (XU Hanqiu. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005(5):589-595. (in Chinese))
- [27] 窦身堂,余明辉,段文忠,等. 长江荆南三口五河水沙变化及治理规划[J]. 武汉大学学报(工学版),2007(4): 40-44. (DOU Shentang, YU Minghui, DUAN Wenzhong, et al. Study on flow and sediment load and preliminary proposal in five tributaries of Jingjiang River [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007(4):40-44. (in Chinese))
- [28] 彭玉明,段文忠,陈永华. 荆江三口变化及治理理想[J]. 泥沙研究,2007(6): 59-65. (PENG Yuming, DUAN Wenzhong, CHEN Yonghua. Change of the Three Outlets in Jingjiang River and the regulation scheme [J]. Journal of Sediment Research, 2007(6): 59-65. (in Chinese)) (收稿日期:2019-07-01 编辑:郑孝宇)