

# 水沙条件对大湖口河冲淤特性的影响

常留红<sup>1,2</sup>,覃瓶山<sup>1,2</sup>,郑景琦<sup>1,2</sup>,刘晓群<sup>3</sup>,孙文硕<sup>1,2</sup>,汤薇<sup>1,2</sup>

- (1. 长沙理工大学水利与环境工程学院,湖南长沙 410114;  
2. 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室,湖南长沙 410114;  
3. 湖南省水利水电科学研究院,湖南长沙 410007)

**摘要:**为了解水沙条件变化对大湖口河冲淤特性的影响,基于二维水沙数学模型,模拟了典型年份洪、中、枯不同水沙条件下该河段冲淤情况,分析泥沙冲淤及河势变化。结果表明:大湖口河原始冲淤表现为第一、二、四段淤积,第三段冲刷,但水沙条件的变化,使得大湖口河河床冲淤整体呈现出上淤下冲的态势,河道断面冲淤表现为左淤右冲,冲淤程度进一步加强。随着上游来水来沙的变化,大湖口河将逐渐向单一、弯曲性河道演变,从而对大湖口河的防洪产生一定的影响。

**关键词:**水沙条件;河势变化;河道冲淤;大湖口河

**中图分类号:**TV122 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2022)04-0015-06

**Influence of water and sediment conditions on scouring and silting characteristics of Dahukou River//CHANG Lihong<sup>1,2</sup>, QIN Pingshan<sup>1,2</sup>, ZHENG Jingqi<sup>1,2</sup>, LIU Xiaoqun<sup>3</sup>, SUN Wenshuo<sup>1,2</sup>, TANG Wei<sup>1,2</sup>** (1. School of Hydraulic and Environmental Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Dongting Lake Aquatic Eco-Environmental Control and Restoration of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Changsha 410007, China)

**Abstract:** To understand the influence of water and sediment conditions on scouring and silting characteristics of the Dahukou River, based on a two-dimensional numerical model of water and sediment, the scouring and silting of the river reach under different water and sediment conditions in typical years of flood, normal and dry were simulated, and the changes of sediment scouring and silting and river morphology variation were analyzed. The results show that the original scouring and silting of the Dahukou River is represented by the first, second and fourth sections of silting, and the third section of scouring. The change of water and sediment conditions makes the riverbed scouring and silting of the Dahukou River generally show the trend of silting upstream and scouring downstream. The scouring and silting of the river section are characterized by silting along the left bank and scouring along the right bank with enhanced degree of scouring and silting. With the change of incoming water and sediment in the upstream, the Dahukou River gradually evolves into a single and curved channel, which may have certain impacts on the flood control.

**Key words:** water and sediment conditions; river morphology variation; river scouring and silting; Dahukou River

水沙过程是江湖关系演变的重要驱动力,也是引起河道冲淤变化的根本原因<sup>[1-2]</sup>。长江上游水库群的修建与运行拦截了大量泥沙<sup>[3]</sup>,破坏了原有的水沙过程,改变了长江中下游河流原有的冲淤平衡,引起中下游河流再造床过程<sup>[4]</sup>。

三峡等水库运行初期下泄沙量大幅度减少,致使坝下游河道发生长时期、长距离的河床冲刷,引起一系列河形变异和河势调整等问题<sup>[5-6]</sup>。以宜昌站为例,2002年之前宜昌站平均输沙量为4.92亿t,而2002—2012年间宜昌站输沙量为0.482亿t,减幅达

到90%。同时,三峡水库出库悬移质泥沙粒径明显偏细,加之水流冲刷强度增加,导致长江中游局部河段崩岸险情频发<sup>[7-8]</sup>,影响河势稳定,危及防洪安全。洞庭湖作为长江中游重要的通江湖泊,其上游水沙的剧烈变化势必会影响洞庭湖流域河流冲淤态势<sup>[9-10]</sup>,而荆江三口是长江与洞庭湖水沙交换的重要纽带,其河段冲淤以松滋口为主,最大冲深达到18.2m<sup>[11]</sup>。研究表明,2003—2018年松滋河道冲刷主要是由干流输沙量显著减少引起<sup>[12]</sup>,1987—2018年松滋口门区的各沙洲面积减小0.4km<sup>2</sup>,减幅为4.2%<sup>[13]</sup>。可

见,上游水库的修建与运行引起长江中下游水沙条件变化,进而影响长江中下游河段冲淤特性变化,尤其是洞庭湖流域的荆江三口较为明显。

大湖口河又称松滋东支,是荆江三口之一松滋口的分支,作为长江入洞庭湖的重要通道,源源不断地向洞庭湖输送水沙。由于长江上游水库群的修建,松滋口的水沙条件产生剧变,大湖口河的水沙条件也随之发生变化。大湖口河水沙条件变化主要为来水、来沙量在年际和年内的变化,三峡建成时间点前后,大湖口河年际径流量无显著变化,但来沙量减少了83.6%。同时,大湖口河年内径流量分配变化不大,来水量无显著变化,但来沙量大幅减少使得大湖口河下游河段冲刷严重,容易产生崩岸与滑坡,不利于堤防稳定,对其防洪形势有所影响<sup>[14-15]</sup>。因此,研究水沙条件变化对大湖口河冲淤特性的影响,了解水沙条件变化条件下洞庭湖流域典型河流的冲淤变化,对洞庭湖区河道治理及防洪安全具有重要意义。

## 1 研究区域概况

大湖口河位于湖南省常德市安乡县境内,处于东经112.06°~112.13°、北纬29.47°~29.77°之间,全长42 km。作为荆江三口中松滋口的东支,大湖口河是长江水沙进入洞庭湖的重要通道。根据大湖口水文站监测数据,1991—2002年大湖口年均径流量为127.2亿m<sup>3</sup>,年均输沙量为85.6万t,三峡工程修建后的2003—2017年,年均径流量为114.8亿m<sup>3</sup>,年均输沙量为14.0万t。可见三峡工程建成前后,大湖口河径流无显著变化,但输沙量减少了83.6%,使得水流挟沙能力加强,加剧了对河床的冲刷。1995年大湖口河整体河床平均高程约为35 m,2018年整体河床平均高程约为29 m,平均下切深度达6 m。

## 2 大湖口河水沙数学模型建立与验证

### 2.1 模型建立

基于大湖口河流域实测地形数据,建立大湖口二维水沙数学模型,研究不同来水来沙情况下,典型年份大湖口河段冲淤变化。模型计算河段从余家港至小望角(图1),全长约40 km。平面二维模型计算网格采用非结构网格,共22 554个网格,在洲滩处进行加密(图2),计算起始地形采用大湖口河2011年实测地形。以上游流量、含沙量、悬移质泥沙级配为模型进口条件,以下游水位过程作为模型出口条件。

模型主槽糙率为0.023,即曼宁值取43.5,洲滩糙率为0.025,即曼宁系数取40。根据《洞庭湖水文气象统计分析》,大湖口河(松滋东支)悬移质泥沙

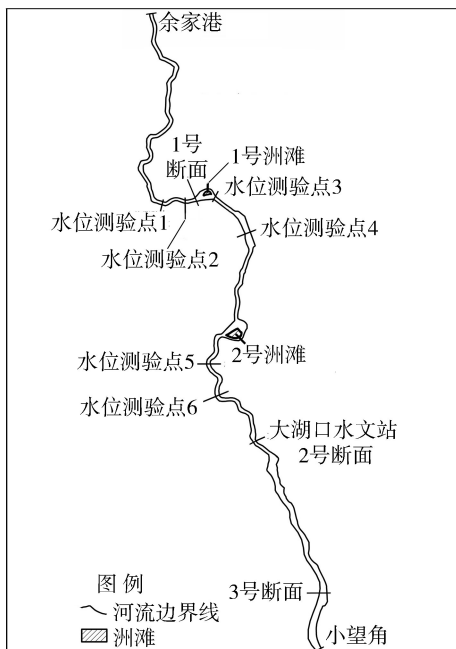


图1 大湖口河示意图

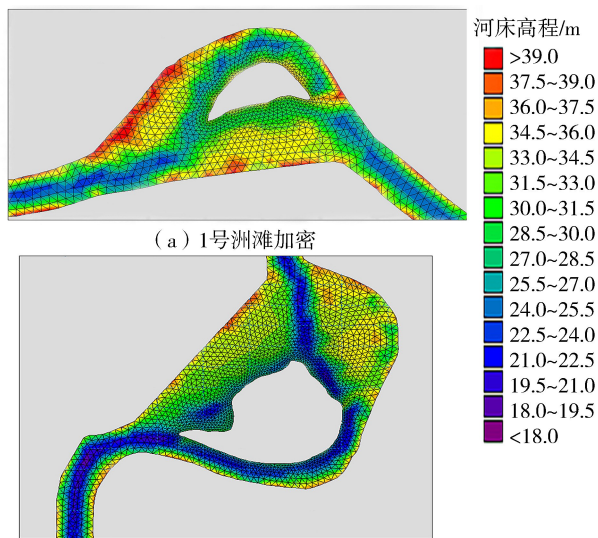


图2 洲滩加密网格

中值粒径  $d_{50} = 0.008$  mm,因此模型泥沙粒径取  $d_{50} = 0.008$  mm。

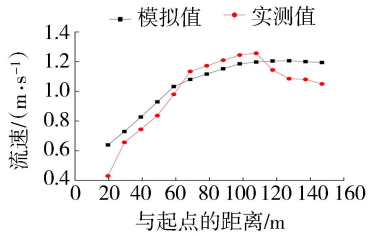
### 2.2 模型验证

根据2011年实测地形建立大湖口河道(上迄余家港,下至小望角)长约40 km的二维水沙模型,利用2017年7月洪季水文资料对模型进行验证。大湖口水道中布置的水位测验点及典型断面位置见图1,测验点水位、典型断面流速和断面地形验证成果见表1及图3和图4所示。

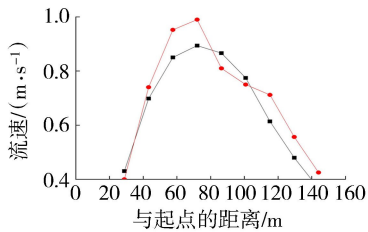
如表1所示,6个水位测验点水位计算值与实测值吻合程度较好。2号点实测水位高于1号点实测水位,为测量误差导致。部分河段由于地形测量时两侧边滩裸露于水面,未进行测量,导致附近测站水位计算值与实测值有所偏差,但偏差在允许误差

表 1 大湖口河水位测验点水位

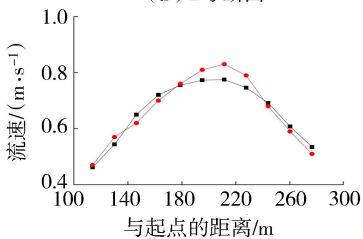
水位测点编号	与进水口距离/m	水位模拟值/m	水位实测值/m
1	11 312	34.95	34.89
2	12 125	34.85	34.90
3	13 749	34.60	34.70
4	17 079	34.38	34.32
5	24 121	33.57	33.59
6	36 154	33.52	33.57



(a) 1号断面

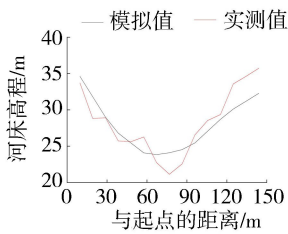


(b) 2号断面

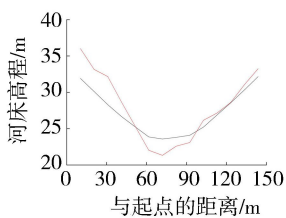


(c) 3号断面

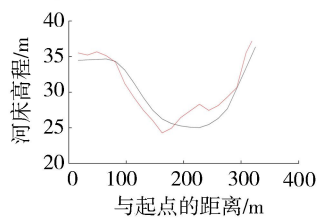
图 3 大湖口断面流速验证



(a) 1号断面



(b) 2号断面



(c) 3号断面

图 4 大湖口断面地形验证

范围内,符合 SL58—1993《水文普通量测规范》要求。

局部边滩位置处的流速模拟值与实测值偏差较大,但深槽位置模拟值与实测值偏差较小(图 3)。这是因为模型边滩部分设置的糙率相对于实际糙率

较小,而深槽部分设置的糙率相对较大。除个别点偏差较大外,其余计算值与实测值的偏差基本都在 0.1 m/s 以内,模型能反映大湖口水道流速分布规律。

泥沙进口边界条件设为平衡状态,泥沙出口边界设为零梯度条件,水两侧边壁条件均为陆地边界。选取大湖口河段 3 个水文监测断面(图 1)的河床高程进行河床变形验证,典型断面验证情况如图 4 所示。断面地形与实测资料在河床中心处误差较大,是因为模型数据与验证资料相隔时间较长,河道已经发生了一定程度的冲淤变形,使得河床断面地形验证不够理想。但误差尚在允许范围以内,因此该模型较好地模拟了大湖口河内的水沙过程,符合 JTS/T 231.4—2018《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》要求。

### 3 水沙条件变化对大湖口河冲淤特性的影响

模型采用洪、中、枯 3 种情况进行重复 20 a 的冲淤模拟,洪中枯年份按 GB/T 22482—2008《水文情报预报规范》从大湖口 1991—2017 年实测逐日水沙数据进行典型年选取,以流量划分为 1998 年、2007 年、2006 年,分别对应丰水、平水、枯水年,以沙量划分为 1991 年、1994 年、2015 年,分别对应丰沙、平沙、枯沙年。取典型年对应的年均流量及输沙量,作为数值模拟的工况(表 2)。

表 2 大湖口河数值模拟工况

工况	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	水位/m	年输沙量/万 t	典型年
1	451	33.56	19.3	枯水-枯沙
2	611	34.46	475.6	平水-平沙
3	1290	37.7	1287.6	丰水-丰沙

#### 3.1 水流流态变化

通过大湖口河水沙数学模型,得到了河道的流场分布,考虑到大湖口河道狭长,截取其中一段典型的河道流场分布(图 5)。由图 5 可知,典型河道凹岸处流速相对较大,基本都在 2 m/s 以上,并且随着河道径流增加凹岸处流速也在增大,这会造成凹岸的冲刷越来越严重,特别是在洪水年。水流在凹岸的冲刷会影响河道岸堤稳定性,诱发崩岸与滑坡,从而对整个河道防洪形势产生不利影响。

#### 3.2 河道冲淤分布变化

不同水沙条件下的冲淤情况如图 6 所示。大湖口河根据 1 号洲滩、2 号洲滩以及下游河势由曲折转向相对笔直的 3 号节点分为 4 段。初始时刻的原始地形,表现为第一、二、四段淤积,第三段冲刷(图 6(a))。工况 1 和 2,大湖口河段淤积主要分布

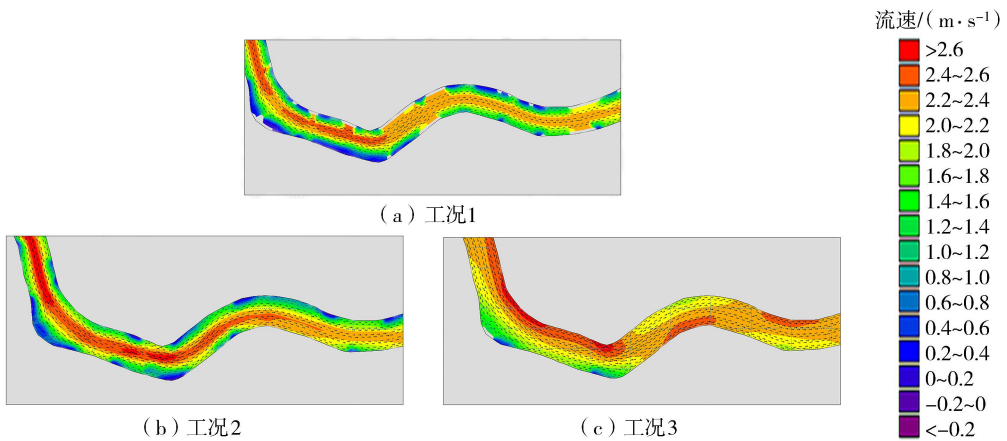


图5 典型河道流场

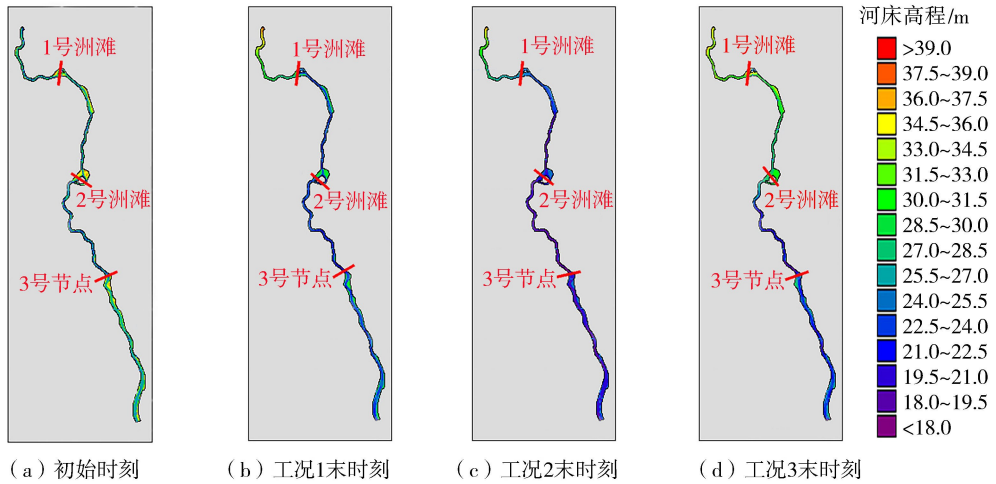


图6 典型年份大湖口河道淤积分布

在第一段,冲刷主要集中在第二、三、四段;工况3淤积主要分布在第一、二段,冲刷分布在第三、四段。所有工况冲淤都呈现上淤下冲的态势,第一段相较于原始地形都有淤积,但淤积程度有所不同。原始地形中最低处高程为20 m左右,枯水-枯沙淤积最低处高程为22 m左右,淤积厚度为2 m,平水-平沙及丰水-丰沙淤积最低处高程都为25 m,其淤积厚度为5 m。

由于地势影响,进入大湖口河的水流流速降低,泥沙沉降,致使一、二段淤积。随着上游淤积厚度增加,上下游水头差变大,就会重新启动流速。上游泥沙沉积之后,水流挟沙能力有所增加,对第三段河床产生冲刷。第四段河流由曲折转为相对笔直,水面变宽,水流流速下降,挟带的泥沙得以淤积。但长江上游水库群的运行使得大湖口河来水量无显著变化,来沙量显著下降,水流挟沙能力加强,改变了河道原有的冲淤情况,河床整体呈现出上淤下冲的态势。

### 3.3 大湖口河河势变化

大湖口河河床整体呈现上淤下冲的态势,为进一步研究大湖口河断面冲淤规律,以6 km为间隔,另选取6个断面(图1中水位测验点位置)对大湖

口河断面冲淤进行分析,如图7所示。

1号、2号断面选自河道上游,3号、4号断面选自中游,5号、6号断面选自下游。由图7可知,来水来沙量变化加剧了上游的淤积与中下游的冲刷,其中丰水-丰沙年的淤积和冲刷最多。河床整体呈现上淤下冲的态势,河床断面表现为左淤右冲。上游河道的淤积随着来水来沙量的变化表现出增加趋势,河道中下游处于冲刷的态势。河道断面呈现左岸淤右岸冲的规律,来水来沙量的变化使得冲淤进一步加强,但总体冲刷量大于淤积量。

### 3.4 大湖口河段冲淤特性变化对防洪的影响

大湖口河道凹岸处流速相对较大,并随径流量增加逐渐增大,使得凹岸冲刷状况越来越严重。同时,大湖口河河床整体表现为上淤下冲的态势,河段断面呈现为左淤右冲。长期上淤下冲使得上下游水头差愈加明显,对右岸长期冲刷,使得右岸逐渐被掏空。河岸容易产生崩岸与滑坡,不利于堤防稳定,对防洪形势有所影响;河势弯曲程度会加深,形成单一、弯曲的新河流。因此需要采取护坡护岸工程保护河岸,增加堤防稳定性,稳定防洪形势。

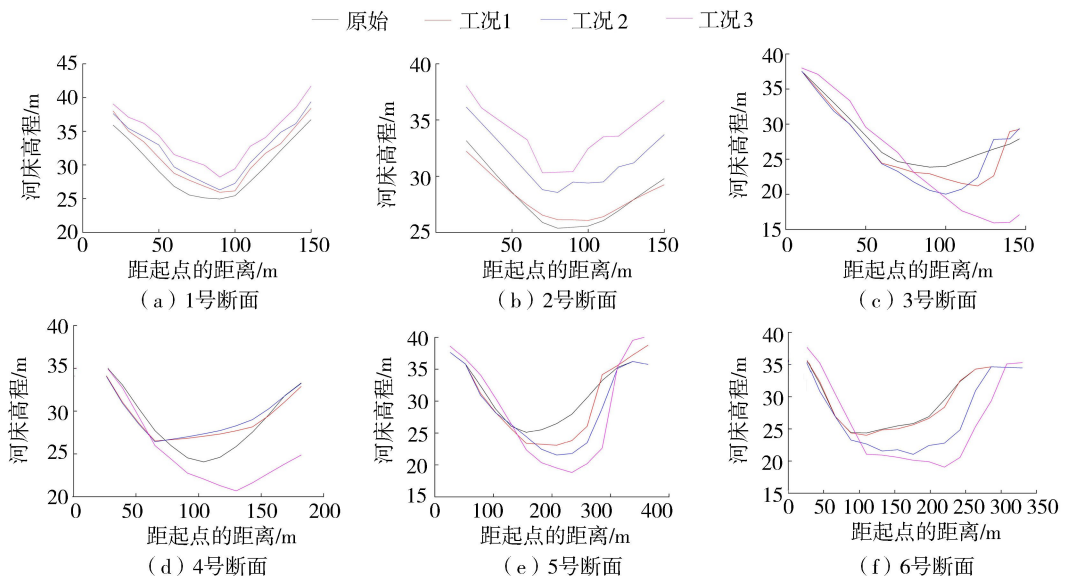


图7 大湖口河床断面冲淤变化

## 4 结 论

a. 基于大湖口河泥沙冲淤数值模拟,发现典型河道凹岸处的流速相对较大,且随着河道流量的增加逐渐增大,造成凹岸的冲刷越来越严重,从而影响河道岸堤稳定性。

b. 原始冲淤表现为第一、二、四段淤积,第三段冲刷。枯水-枯沙及平水-平沙大湖口河段淤积主要分布在第一段,冲刷主要集中在第二、三、四段;丰水-丰沙淤积主要分布在第一、二段,冲刷分布在第三、四段。所有工况冲淤都整体呈现上淤下冲的态势。

c. 通过河道断面分析,发现大湖口河河道断面冲淤规律表现为左岸淤积,右岸冲刷。且随着来水来沙量的变化,冲淤程度进一步加强,但总体来看河床冲刷程度大于淤积程度,易引发崩岸与滑坡,从而影响河流防洪形势;同时河势的弯曲程度进一步加深,向单一、弯曲的新河流演化,因此需要采取护坡护岸工程稳定防洪形势。

### 参考文献:

[1] 王延贵,胡春宏,刘茜,等. 长江上游水沙特性变化与人类活动的影响[J]. 泥沙研究, 2016, 41(1): 1-8. (WANG Yangui, HU Chunhong, LIU Xi, et al. Study on variations of runoff and sediment load in the Upper Yangtze River and main influence factors[J]. Journal of Sediment Research, 2016, 41(1): 1-8. (in Chinese))

[2] 黎铭,张会兰,孟铖铖. 黄河皇甫川流域水沙关系特性及关键驱动因素[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(5): 27-35. (LI Ming, ZHANG Huilan, MENG Chengcheng. Study on characteristics of water-sediment relationship and key influencing factors in Huangfuchuan Watershed of Yellow River[J]. Advances in Science and

Technology of Water Resources, 2019, 39(5): 27-35. (in Chinese))

[3] 孙占东,黄群,姜加虎. 洞庭湖主要生态环境问题变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1108-1113. (SUN Zhandong, HUANG Qun, JIANG Jiahu. Changes of major ecological and environment issues in Dongting Lake region[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(9): 1108-1113. (in Chinese))

[4] 吴计生,梁团豪. 基于湖泊完整性的查干湖健康评价[J]. 东北水利水电, 2018, 36(4): 33-36. (WU Jisheng, LIANG Tuanhao. Health assessment of Chagan Lake based on lake integrity[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2018, 36(4): 33-36. (in Chinese))

[5] 毛继新,韩其为. 三峡水库下游河道冲淤计算研究. 三峡工程泥沙问题研究(1996—2000), 第七卷[M]. 北京: 知识产权出版社, 2002: 26-66.

[6] 金中武,任实,吴华莉,等. 三峡水库淤积排沙及河型转化规律[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(10): 9-15. (JIN Zhongwu, REN Shi, WU Huali, et al. Sedimentation and sediment delivery and river pattern conversion in the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2020, 37(10): 9-15. (in Chinese))

[7] 夏军强,周美蓉,许全喜,等. 三峡工程运用后长江中游河床调整及崩岸特点[J]. 人民长江, 2020, 51(1): 16-27. (XIA Junqiang, ZHOU Meirong, XU Quanxi, et al. Bank collapse and river bed adjustment in middle Yangtze River after operation of Three Gorges Project[J]. Yangtze River, 2020, 51(1): 16-27. (in Chinese))

[8] 张幸农,假冬冬,陈长英. 长江中下游崩岸时空分布特征与规律[J]. 应用基础与工程科学学报, 2021, 29(1): 55-63. (ZHANG Xingnong, JIA Dongdong, CHEN Changying. The spatial and temporal distribution characteristic of bank collapses in the middle and lower

- reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Basic Science and Engineering,2021,29(1):55-63. (in Chinese))
- [9] 毛德华,曹艳敏,李锦慧,等.洞庭湖入出湖径流泥沙年内变化规律及成因分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(1):32-39. (MAO Dehua, CAO Yanmin, LI Jinhui, et al. Analysis on annual variation law and its causes of runoff and sediment flowing in and out of the Dongting Lake[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2017,28(1):32-39. (in Chinese))
- [10] 杨敏,毛德华,刘培亮,等.1951-2015年洞庭湖水沙变化特征分析[J].武汉大学学报(工学版),2018,51(12):1050-1062. (YANG Min, MAO Dehua, LIU Peiliang, et al. Analysis of characteristics of annual runoff and sediment in Dongting Lake during 1951-2015 [J]. Engineering Journal of Wuhan University,2018,51(12):1050-1062. (in Chinese))
- [11] 许全喜.三峡水库蓄水以来水库淤积和坝下冲刷研究[J].人民长江,2012,43(7):1-6. (XU Quanxi. Research on reservoir sedimentation and downstream channel erosion of dam after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. Yangtze River,2012,43(7):1-6. (in Chinese))
- [12] 李彦彦,杨桂山,万荣荣,等.1968~2018年洞庭湖江湖连通河道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 deposition of Songzikou outlet, a river-lake connected channel of Dongting Lake during 1968-2018 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2020,29(10):2239-2249. (in Chinese))
- [13] 陈帮,李志威,胡旭跃,等.1950年以来松滋河水沙与河道冲淤变化[J].水利水电科技进展,2020,40(5):24-31. (CHEN Bang, LI Zhiwei, HU Xuyue, et al. Water-sediment change and channel dynamics of Songzi River since 1950[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2020,40(5):24-31. (in Chinese))
- [14] 汪业新,任伟.松滋东支大湖口河段大堤滑坡原因分析与治理措施[J].湖南水利水电,2005(5):73-74. (WANG Yexin, REN Wei. Cause analysis and treatment measures of embankment landslide in Dahukou reach of Songzi East Branch[J]. Hunan Hydro & Power,2005(5):73-74. (in Chinese))
- [15] 唐西华,黄云仙.大湖口河的洪道现状与整治方案探讨[J].湖南水利水电,2004(5):33-34. (TANG Xihua, HUANG Yunxian. Discussion on the current situation and regulation scheme of the flood channel of Dahukou River [J]. Hunan Hydro & Power, 2004(5):33-34. (in Chinese))

(收稿日期:2021-04-28 编辑:刘晓艳)

(上接第6页)

- [13] 戴中华,张晟,陈玲,等.层次分析法在苏南城区河道整治工程选择中的运用[J].环境科学与管理,2012,37(9):97-101. (DAI Zhonghua, ZHANG Sheng, CHEN Ling, et al. Application of analytic hierarchy process in the selection of river improvement projects in Southern Jiangsu [J]. Environmental Science and Management, 2012, 37(9):97-101. (in Chinese))
- [14] 王雪,方国华,李鑫.基于序关系分析-模糊物元法的昆山市节水型社会建设综合评价[J].水利经济,2020,38(5):30-35. (WANG Xue, FANG Guohua, LI Xin. Comprehensive evaluation of water-saving society construction in Kunshan City based on order relationship analysis-fuzzy matter-element method [J]. Water Conservancy Economics, 2020, 38(5):30-35. (in Chinese))
- [15] 高玉琴,刘云莘,叶柳,等.基于物元分析法的泵站管理现代化评价研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(4):124-130. (GAO Yuqin, LIU Yunping, YE Liu, et al. Evaluation of modernization of pumping station management based on matter element analysis method [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2019,30(4):124-130. (in Chinese))
- [16] 黄显峰,钟婧玮,方国华,等.基于物元分析法的水资源管理现代化评价[J].水利水电科技进展,2017,37(3):22-28. (HUANG Xianfeng, ZHONG Jingwei, FANG Guohua, et al. Evaluation of water resources management modernization based on matter element analysis method [J]. Progress in Water Resources and Hydropower Science and Technology, 2017, 37(3):22-28. (in Chinese))
- [17] 方国华,黄显峰.多目标决策理论、方法及其应用[M].北京:科学出版社,2019:156-162.
- [18] 谭鑫,黄其昱,全琳,等.基于改进物元可拓法的跨国联网工程综合效益评价[J].电力工程技术,2020,39(6):199-206. (TAN Xin, HUANG Qiyu, TONG Lin, et al. Evaluation of comprehensive benefits of multinational networking projects based on improved matter element extension method [J]. Electric Power Engineering Technology,2020,39(6):199-206. (in Chinese))
- [19] 章志强,李涛章.浅谈长江南京河段岸线治理与沿江经济发展[J].江苏水利,2010(1):15-16. (ZHANG Zhiqiang, LI Taozhang. On the shoreline management of the Nanjing section of the Yangtze River and the economic development along the river[J]. Jiangsu Water Resources, 2010(1):15-16. (in Chinese))
- [20] 方国华,袁婷,林榕杰.长江江苏段饮用水水源地生态风险评价[J].水资源保护,2018,34(6):12-16. (FANG Guohua, YUAN Ting, LIN Rongjie. Ecological risk assessment of drinking water sources in Jiangsu section of the Yangtze River[J]. Water Resources Protection,2018,34(6):12-16. (in Chinese))

(收稿日期:2021-06-28 编辑:刘晓艳)