

泰州引江河口门区 泥沙淤积特征及成因分析

樊锦川¹, 杨校礼², 侯煜¹, 周琪慧¹, 张天琪¹, 张楚楚¹, 黄蔚¹

(1. 江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225321; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要:泰州引江河是江苏省重要的水利工程, 建成运行后, 发挥了巨大的综合效益, 但其口门区存在的泥沙淤积问题一直是研究解决的重点。基于多年实测水文、泥沙和地形数据, 针对泰州引江河口门区泥沙淤积状况, 结合工程所在江段的水沙特性、引江河床面形态, 讨论了该区域的泥沙淤积特征, 并对该口门区泥沙累积淤积成因进行了分析, 研究结果表明: 泰州引江河工程口门区受河段河势特征、潮流、引排水调度影响, 动力来源多样, 易出现特殊水流结构, 口门区泥沙多年累积淤积, 随着泥沙向引江河道内发展, 逐渐呈现区域淤积与区域冲刷并存现象。

关键词:泰州引江河; 口门区; 泥沙淤积; 成因分析

中图分类号: TV148 文献标识码: A 文章编号: 1007-7839(2024)07-0061-0005

Analysis of the characteristics and causes of sediment accumulation in entrance area of Taizhou Diversion River

FAN Jinchuan¹, YANG Xiaoli², HOU Yu¹, ZHOU Qihui¹, ZHANG Tianqi¹,
ZHANG Chuchu¹, HUANG Wei¹

(1. Taizhou Yinjiang Canal Administration of Jiangsu Province, Taizhou 225321, China;
2. College of water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taizhou Diversion River is an important water resources project in Jiangsu Province. After its completion and operation, it has achieved tremendous comprehensive benefits, but the sedimentation problem in the entrance area has always been a focus of research and solution. Based on years of measured hydrological, sediment, and topographic data, this paper addresses the sediment accumulation situation in the entrance area of the Taizhou River Diversion, combined with the water and sediment characteristics of the river section where the project is located and the morphology of the river bed, the sediment accumulation characteristics in the mouth area are also analyzed. The research results indicate that the entrance area of Taizhou River diversion project is influenced by the characteristics of the river regime, tidal currents, and the regulation of water diversion and drainage. It has various power sources, which is prone to special flow structure. The sediment in the entrance area has accumulated for many years, and with the development of sediment into the diversion channel, regional sedimentation and regional erosion have coexisted gradually.

Key words: Taizhou Diversion River; entrance area; sediment accumulation; cause analysis

收稿日期: 2024-06-03

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021020)

作者简介: 樊锦川(1980—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事泵站运行管理工作。E-mail: 63475442@qq.com

泥沙淤积是水利工程设计及运行中的研究重点,是影响河道取水口布置及工程寿命的核心问题。泰州引江河工程自1999年9月运行始,便出现严重的泥沙淤积问题,淤积速度快,淤积量大^[1],淤积的泥沙侵占并阻塞引水河道过流断面,改变口门区水流结构,影响过流能力。

部分学者对船闸引航道口门区展开研究,发现该口门区域水流结构复杂,易发生泥沙淤积现象,且淤积速度快^[2-4]。李君涛等^[5]针对该淤积问题进行分析,提出造成该类口门区泥沙淤积的重要原因是回流淤积和异重流淤积;潘庆^[6]认为除上述主要原因外,还应考虑船闸运行时的往复流。在工程中往往采用导流墩、导航墙开孔、泄水闸泄流等工程措施改善水流条件^[7-8]。

引水河道口门区因其河道内枢纽具备引排水功能,口门区水流结构会发生周期性调整,影响因素众多,泥沙累积淤积机理复杂,本文基于长系列水文、泥沙原型观测资料,对泰州引江河口门区域泥沙淤积特征及成因进行分析,分析结果可为运行管理部门采取适宜减淤防控措施提供参考。

1 研究区域及数据来源

本文主要研究范围为泰州引江河及所在江段,泰州引江河工程位于江苏省泰州市与扬州市交界处,南起长江,北接新通扬运河,全长24.00 km。工程以引水为主,灌溉、排涝、航运、生态、旅游综合利用,是我国南水北调东线的水源工程之一,也是国家沿海开发战略工程之一。工程建成以来累计向里下河及东部沿海地区灌溉引水及抽水共计565.59亿m³,有效保障了周边地区的用水、防洪防涝安全,发挥了巨大的经济社会效益。

如图1所示,泰州引江河工程引水口门区位于长江凹岸侧。高港枢纽工程为泰州引江河控制建筑物,采用闸站结合布置方式,其中节制闸紧靠引江河西侧布置,抽水泵站布置在节制闸东侧。船闸位于节制闸西侧,中心线与泰州引江河平行。泰州引江河工程多年实际运行过程中,引江河段泥沙淤积严重,口门处泥沙淤积已上升至水面以上成为浅滩,引水河道沿程也存在大量泥沙落淤,见图2。

针对泰州引江河工程投入运行后口门区和引水河道段的泥沙淤积问题,本文利用1950—2015年长江扬中河段水文泥沙资料及2015—2020年引江河道断面原型观测数据进行研究分析,数据资料均

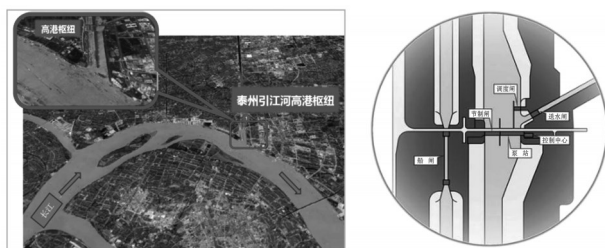


图1 泰州引江河工程布置示意



图2 泰州引江河工程泥沙淤积现状

来源于江苏省泰州引江河管理处。

2 泰州引江河淤积特征

2.1 水沙特性

泰州引江河位于长江扬中河段的嘶马弯道,扬中河段处于长江近河口段,属于感潮河段。在引江河上游350 km处设有大通水文站,大通以下支流汇入的径流一般仅占大通站的2.5%,采用大通水文站水文及泥沙的监测数据,能较好反映扬中河段来水来沙特性。

据1950—2015年资料统计,大通站多年平均径流总量约为8946亿m³,年际间波动较大,如图3所示。随着长江上游水土保持工程及水库工程的建设,长江流域来沙逐年减少,以葛洲坝工程和三峡枢纽蓄水年为时间节点,输沙量逐渐减小,呈现明显的三阶段变化特点,见图4,其中,大通站1951—1985年平均年输沙量为4.71亿t,1986—2002年平均年输沙量为3.40亿t,2003—2015年平均年输沙量为1.42亿t。

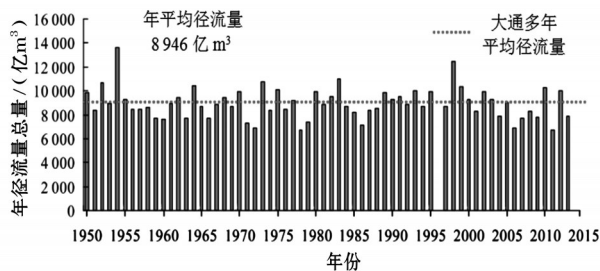


图3 1950—2015年大通站历年径流总量分布

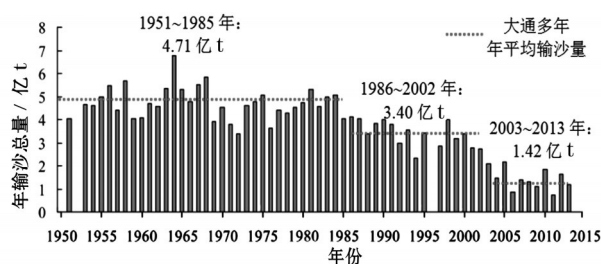


图4 1950—2015年大通站历年输沙总量分布

扬中河段多年平均含沙量在三峡工程蓄水后由 0.468 kg/m^3 降低至 0.136 kg/m^3 ,减少约70.94%;汛期多年平均含沙量由 0.564 kg/m^3 降低至 0.177 kg/m^3 ,减少约68.62%。对于年均输沙率,与蓄水前相比,年平均输沙率减少约67.78%,汛期内减少约为70.84%,而枯季变化有限。此外,长江南京以下深水航道工程的建设范围为长江干线南京至太仓河段,需在280 km河段范围内进行航道治理,如航道浚深、护滩、护岸工程等,都会对长江下游感潮河道的挟沙能力带来一定改变。

2.2 引江河道床面形态变化

2.2.1 引江河道床面形态整体演变趋势

为探讨泰州引江河淤积断面沿程演化过程,利用该工程2015年、2019年实测地形资料及标准断面的原始地形资料展开分析比较,各断面面积沿程变化如图5所示。引江河道沿程存在不同程度的泥沙淤积,且距枢纽口门0~300 m范围内淤积程度最大。经2014年整体疏浚、挖深后,2015年淤积量虽较标准断面的相对增长较小,但整体仍体现迅速淤积态势。而2019年数据表明,多年累积的泥沙淤积总量较标准断面的相对增长较大,体现口门区泥沙呈累积淤积趋势。从空间分布来看,泰州引江河工程引水河道整体特征表现为沿程淤积,口门区淤积最为严重,引江河内部则为浅淤。

2.2.2 引江河道典型断面形态变化特征

为进一步探求引江河工程口门区淤积形态及

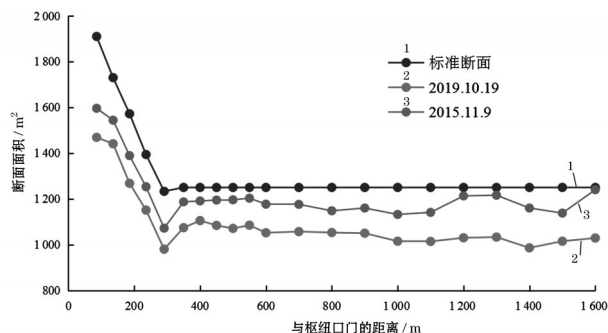


图5 泰州引江河引水渠内地形横断面面积变化

其变化趋势,选取引江河口门区域典型横断面,鉴于引江河具备引排双向功能,定义泰州引江河引水工况下引水渠顺水流方向,左侧为左岸,右侧为右岸,绘制2018—2020年典型断面地形图。典型断面选取如图6所示。

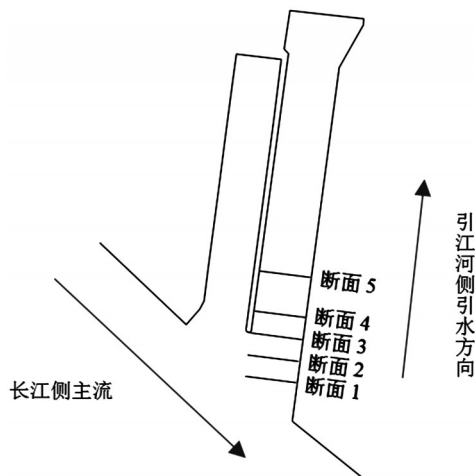


图6 引江河口门区典型横断面布置示意

由图7可见,自2018年10月至2020年10月间,断面1、2均呈现出明显的淤积态势,断面1平均淤积厚度可达1.1m,年均淤积厚度约为0.55 m;相较于断面1,断面2平均淤积厚度与年均淤积厚度均有所减小。断面3右岸呈冲刷态势,冲刷宽度约123 m,平均冲刷深度为0.74 m,年均冲刷深度为0.37 m,冲刷主要表现为由右岸逐渐向主槽递增,最大冲刷深度可达1.42 m;左岸呈淤积态势,淤积宽度约70 m,平均淤积厚度约2.43 m,年均淤积厚度为1.22 m,最大淤积厚度可达2.85 m。断面4与断面3变化趋势相近,但其右岸的冲刷范围减小约13 m,冲刷深度增加,年均冲刷深度约为0.68 m;左岸淤积宽度增加约82 m,年均淤积厚度为1.36 m,淤积厚度呈现逐年增大的趋势。断面5两侧河岸均呈现淤积态势,淤积宽度约94 m,平均淤积厚度约0.88 m,年均淤积厚度为0.44 m;主槽冲刷宽度约98 m,平均冲刷深度为0.83 m,年均冲刷深度可达0.42 m。

整体来看,引江河口门边缘泥沙主要呈淤积态势,随着泥沙向引江河道内发展,泥沙淤积造成口门区域过水断面缩减,挤压水流,导致水流流速增大,口门区呈现区域淤积与区域冲刷并存现象。在引江河道内,河道右岸发生明显冲刷,而左岸则有一定的淤积,随着向引江河下游发展,左岸的淤积范围与右岸的冲刷范围逐渐减小,冲刷位置由右岸

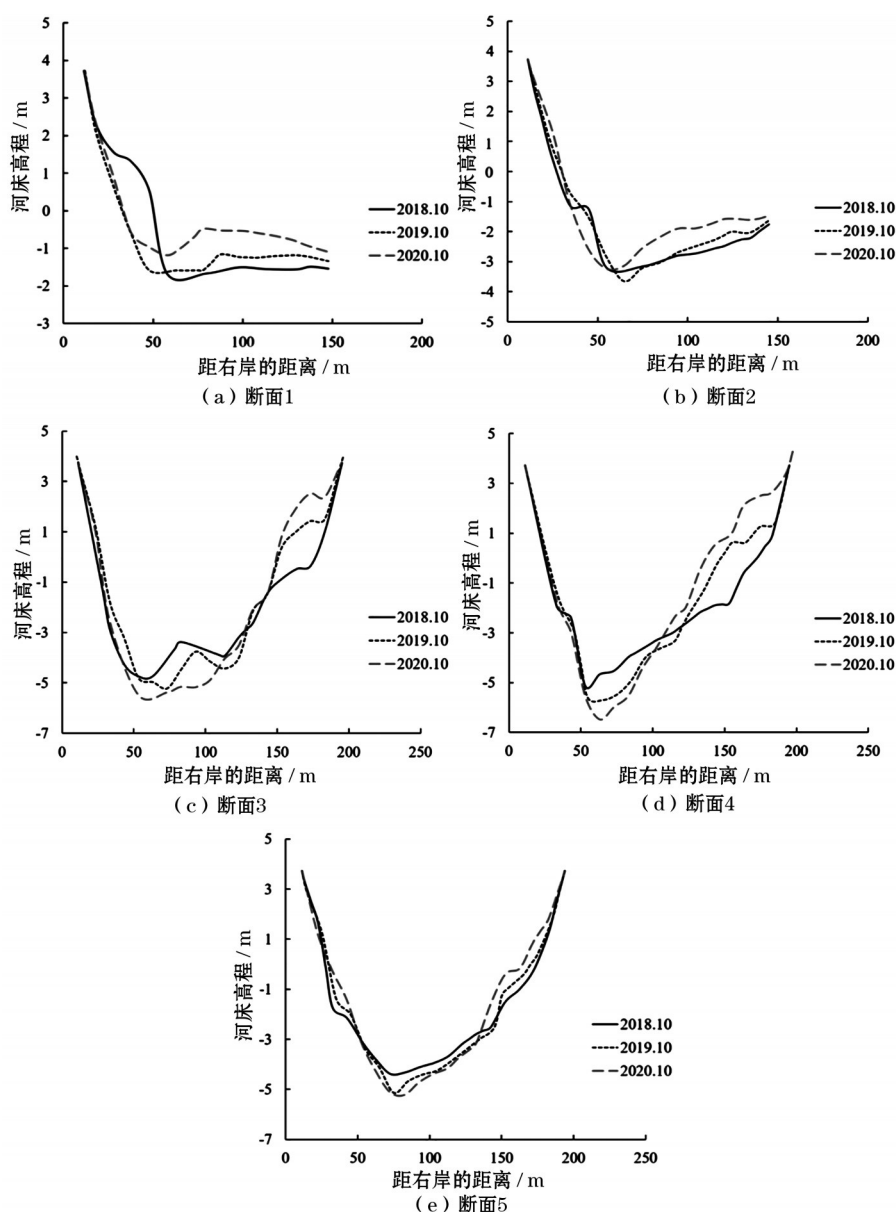


图7 口门区典型横断面河床地形

向主槽靠拢,左、右岸均呈现出淤积态势,且冲刷深度与淤积厚度均逐渐减小,最终趋于稳定。

3 淤积成因分析

结合上述对研究区域河段内水沙特性及引江河道地形原型观测数据的分析,对泰州引江河口门区泥沙淤积成因展开分析。由于引水河道口门区附近可能存在回流、缓流、异重流等特殊的水流条件,动力来源多样,泥沙运动影响因素复杂,要准确地探究口门区泥沙淤积机理,需要综合考虑多方面影响因素。

3.1 河段河势特征影响

在泰州引江河所处长江河段中,其上游河段有

雷公咀等洲滩存在,受洲滩导流影响,来水主流和弯道水流结构发生变化,使得上游来水、来沙呈现不同于传统凹岸的特征,影响泰州引江河口门区泥沙累积淤积。

口门区位于主河道动水和引江河内相对静止水体的交界区域,该区域河道断面明显扩大,河道主流在口门处受紊动剪切作用产生回流,主流和回流在口门处形成较大含沙量梯度,受紊动扩散作用影响,河道主流挟带部分泥沙进入回流区,其中较粗颗粒泥沙在回流区的运动过程中逐渐落淤,较细颗粒的泥沙一部分在与主流的水流交换中进入长江侧主流,另一部分则随水流运动进入引江河内,沿程落淤。

3.2 潮流影响

泰州引江河所属的扬中河段为感潮河段,其潮型属非正规半日浅海潮,一天中有两涨两落。每日涨潮历时约3 h,落潮历时约8 h,落潮历时约为涨潮时的2.5倍。涨潮历时自下而上逐渐缩短,落潮历时则逐渐增长。潮差相差较大,高潮不等尤为明显,低潮位因河道来流主要受径流控制而两潮相差不大。

通常情况下,由于扬中河段枯季径流量较小,河段内会出现涨潮流,枯季潮区界处于安徽省铜陵与芜湖之间,潮流界受径潮流相对大小影响而不断变动,枯季可能上升至镇江附近;而扬中河段洪季径流量较大,河段内一般不会出现涨潮流,潮流界移动至江阴附近。

涨潮流将直接影响研究区域河段内主流,如在枯季大潮涨急时刻,扬中河段出现明显涨潮流,长江主流流速减小,主流与引江河侧水体的流速梯度减小,在长江主流与引江河水体交界面,其附近的水流掺混、紊动程度减弱,同时回流区、低流速区等特殊水流结构也不再明显。而在枯季大潮的落急时刻,长江主流侧流速增大,主流与高港枢纽侧水体的流速梯度增加,口门区特殊水流结构明显。潮流的出现,一方面改变了长江主流侧水流流速,影响主流挟沙能力;另一方面,改变了长江主流侧与引江河侧水体的流速梯度,影响其口门区特殊水流结构的形成,导致口门区淤积程度及范围不断发生变化。

3.3 引排水调度影响

不同的取水口布置型式、中隔堤长度等物理参数及引水流量、流速、水位等水力参数均可能改变口门区水流结构,影响口门区回流水体与缓流水体的形成。

泰州引江河工程兼顾引排水调度功能,根据全年引排水要求,在年内按月份分配引水量,其中,枯季3、4月份以及洪季5、6月份均有较高引水量,排水则主要集中于洪季6—9月份。对于高港枢纽侧,在洪季排水时,长江主流流速较大,引江河水流具有较低的动量,两股水流发生碰撞,在长江主流的挤压、带动与河道边界影响下,流向发生弯曲,进而在交汇区形成一个低流速区,并在主流的带动下形成回流区。

枯季引水时,由长江进入引江河口门区的水流流线急剧转折,形成岛头绕流,使引水主流偏向引

江河右岸,同时进入引水河道的长江侧水流与引江河内相对静止的水体产生较大的流速梯度,受紊动剪切作用,在口门处产生回流。部分水流沿岸坡向引江河侧运动并形成低流速区,泥沙沿程逐渐落淤。

4 结 论

(1)泰州引江河工程口门区泥沙淤积较重,河道标准梯形断面长期淤积后形态整体呈“U”型,且主要淤积在引江河口门区右侧区域,因淤积泥沙束窄过水断面,挤压水流,水流流向调整,直冲淤积区下游的引江河右岸,堤防冲刷明显,最终形成口门区淤积与冲刷并存现象。

(2)随着淤积向枢纽侧引江河段发展,引江河道内左、右岸均呈现淤积态势,冲刷位置由右岸向主槽靠拢,冲刷深度及淤积厚度减小并趋于稳定。

(3)泰州引江河口门区泥沙累计淤积机理复杂。一方面,口门区水流结构受河势影响,易产生回流区和缓流区,泥沙易在此处落淤;另一方面,泰州引江河属于感潮河段,同时兼顾引排水调度功能,在涨落潮及引排水相互作用下,口门区水流结构不断发生变化,在口门区及引水河道内,冲刷和淤积交替存在,对工程安全造成严重威胁,需对相应的减淤防冲措施展开深入研究。

参考文献:

- [1] 张晓松,周珺,车金玲,等. 泰州引江河口门区淤积成因及防淤减淤措施[J]. 中国水利, 2015(20): 20-22, 4.
- [2] 陈永奎,王列,杨淳,等. 三峡工程船闸上游引航道口门区斜流特性研究[J]. 长江科学院院报, 1999(2): 2-7, 31.
- [3] 黄碧珊,张绪进,舒荣龙,等. 新政电航枢纽船闸引航道口门区通航条件研究[J]. 重庆交通学院学报, 2003(3): 120-124.
- [4] 任实,刘亮. 三峡水库泥沙淤积及减淤措施探讨[J]. 泥沙研究, 2019, 44(6): 40-45.
- [5] 李君涛,戴阳豪,金辉,等. 扩建船闸下游口门区泥沙淤积特性及减淤技术研究[J]. 中国港湾建设, 2020, 40(4): 1-5.
- [6] 潘庆. 三峡工程船闸引航道防淤清淤措施研究综述[J]. 长江科学院院报, 1995(1): 25-30.
- [7] 周华兴,郑宝友. 船闸引航道口门区通航水流条件改善措施[J]. 水道港口, 2002(2): 81-86.
- [8] 李君涛,普晓刚,张明. 导流墩对狭窄连续弯道枢纽船闸引航道口门区水流条件改善规律研究[J]. 水运工程, 2011(6): 100-105.