

圈围特大涨潮沟的实施顺序与龙口选址

卢永金¹, 宋少红², 刘新成¹, 袁建忠³, 叶源新²

(1. 上海市水利工程设计研究院, 上海 200063; 2. 上海青草沙投资建设发展有限公司, 上海 201206;
3. 上海勘测设计研究院, 上海 200434)

摘要: 涨潮沟圈围施工顺序及龙口选址关系到施工期堤线滩势稳定和工程成败. 以青草沙水库工程为实例, 分析了潮汐河口中涨潮沟特殊地貌的形成及维持的机理, 介绍了以大型涨潮沟为对象的圈围工程的围堤实施顺序和龙口选址问题的研究技术路线, 通过数模物模分析水动力特性, 结合施工组织等因素, 提出了先高滩后深槽和龙口设在涨潮沟中的结论, 揭示了同类工程的一般规律, 并经实践成功检验.

关 键 词: 潮汐河口; 涨潮沟; 青草沙; 圈围; 实施顺序; 龙口

中图分类号: TV871:TV22

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2010)01-0095-06

本文所说的涨潮沟,是指与陆域岸线基本平行的近岸条带状深槽,槽中涨潮流明显强于落潮流,槽的外侧有一条带状沙脊将涨潮沟与河口主槽分隔,沙脊顶高程一般由上游往下游逐步降低,上端以沙洲或浅滩的形式与陆域或高滩相连,下端在涨潮沟门口处消失.这种涨潮沟形态又被称为“外沙内泓”^[1],是特有水动力条件作用下的一种不稳定平衡状态,流场、波浪或泥沙条件的改变,极易引起带状沙脊冲刷,而且一旦冲刷启动,其速度往往很快,一两个潮周期就可能引起大片沙脊消失.研究涨潮沟的形成及维持机理,有着重要的现实意义.上海长兴岛南沿中下段国家级造船基地的建设就是利用了涨潮沟这一特殊的地貌,可以说涨潮沟的发育和维持决定着长兴造船基地的存亡.但作为河口中的特殊地貌,涨潮沟形成和维持的力学机理至今仍未完善^[2].

利用涨潮沟外侧的沙脊建造堤坝,与陆域连成封闭的围区,是一种整理河势、圈围造地(库),实现多功能目标优良的布置方式.但是这种布置方式在具体实施时有两大难题:一是筑堤施工的顺序,由于几公里以上长度的大堤不可能在短时间内同步建成,研究圈围大堤实施顺序,就是要选择合理大堤施工作业面和进展速度控制要求,保证先实施堤段的沙洲或沙脊稳定,不发生大面积冲刷,同时满足未能同步跟上的其它堤段的河势稳定;二是龙口的选址,除了规模很小、围区水量变化也很小的圈围工程不设龙口之外,一般圈围工程均先在适当的位置预留经过抗冲保护的一定规模的缺口,在缺口以外的堤段构筑到水面以上一定高度并具备防渗破坏和抗风浪冲击能力之后,再集中力量把缺口堵上,这个缺口即为龙口,而这个堵缺口的过程即为截流合龙过程.龙口选址一般应满足以下几个条件:①围区水流进出最为顺畅,尽量减小施工期围区内外水位差;②对非龙口段堤坝施工干扰最小,有利于非龙口段堤坝施工的展开;③易于保护龙口及龙口内外的河床,同时便于截流施工.按照上海地区的经验,围区内外水位差一般应控制在0.5 m以下,流速在3.5 m/s以下,以满足土工织物充填沙袋和混凝土块联锁排或沙助软体排配以抛石压重构成的龙口安全,同时满足龙口保护和合龙方便、经济.龙口选址与堤坝的实施顺序密切相关,并常以水流条件为主要控制因素.考虑到涨潮沟流态复杂、流速大、流向变化多,大规模圈围工程又受施工组织、造价控制等多方面的影响,实施顺序和龙口选址应通过大量的计算和试验分析并综合论证确定.

收稿日期: 2009-03-15

作者简介: 卢永金(1963-),男,江苏高邮人,教授级高级工程师,博士,主要从事河口、海岸水利工程设计与研究.

E-mail: soft777@vip.sina.com

本文以上海在长江口江心沙滩上建设大型青草沙水库的研究和实践为基础,重点探讨河口地区圈围大型涨潮沟的堤坝实施顺序和龙口选址问题.

1 涨潮沟地貌形成的水动力机理探讨

一般认为,涨潮沟是因涨落潮流流路不一致,加上科氏力作用的结果^[2-4].对青草沙水域水流分析证实了这一理论^[5-9].青草沙水域位于长江口南支南北港分流口附近,长兴岛西北侧,地貌形态为大片江心沙洲后拖一条基本平顺相连的带状沙脊,沙脊离岸 1.2~4.0 km,顺流向长约 30 km,沙脊及其上游沙洲构成包络面积约 48 km²的河口大型涨潮沟(见图 1),青草沙围堤线布置在此沙脊上.水流测验和二维及三维数值模拟(见图 2)可以发现,涨潮时来自横沙小港的强劲涨潮流贴岸向上游,而落潮流经新桥通道斜向入北港,主流偏北,在青草沙下段涨落潮流路明显不一致.仔细分析流场还可发现,以沙脊为界,沙脊内侧涨潮沟内下段涨潮时流速大于沙脊外侧,而落潮时则是沙脊外侧流速大于内侧.由于这种速度差的存在,水流在一定范围内存在流速梯度,流速梯度的剪切效应导致涡流产生,进而导致水体中高含沙的落淤,形成沙脊.

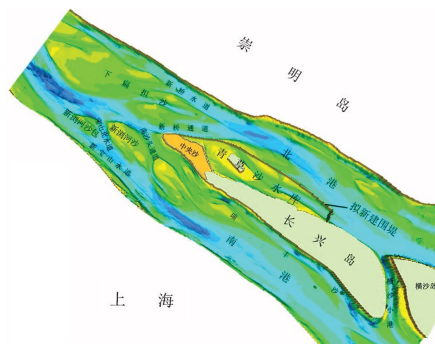
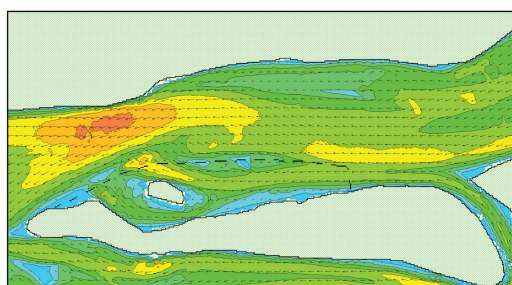
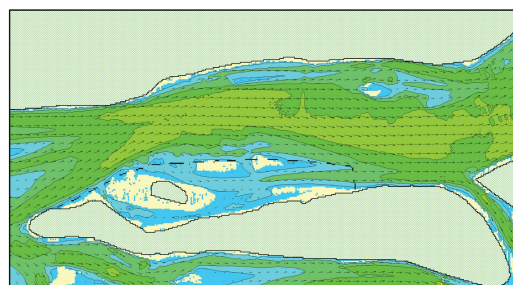


图 1 长江口青草沙水域地形

Fig. 1 Topographic map of the Yangtze River Estuary near Qingcaosha



(a) 涨急流场



(b) 落急流场

图 2 涨潮沟附近涨落潮流场

Fig. 2 Velocity distribution in flood channel of Qingcaosha

随着涨潮沟向上游延伸,沟内的水流强度逐渐减弱,水动力逐渐减小,水流冲刷能力降低,因而沟槽逐渐变浅;落潮时涨潮沟上端的落潮流主流一般偏外侧,头部水流不急,易于落淤,从而形成沙洲.落潮漫过沙洲进入涨潮沟的水流不及沟槽外主流顺畅,导致沙脊内侧沟槽中水位和流速低于沙脊外,一方面产生了越过沙脊的横向流,另一方面产生了与涨潮时方向相反的剪切效应和涡流.在涨落潮周期性交替作用下,涨潮沟形态维持动态平衡,一旦水域中水沙情况发生大的变化或者流场受到人为干扰,涨潮沟也将随之调整.

3 涨潮沟圈围堤坝实施顺序和龙口选址研究

3.1 方案拟订与分析方法

条带状的涨潮沟长度方向为顺堤方向,与潮流方向一致,这就决定了涨潮沟圈围与一般沿岸滩涂圈围水力特征的最大区别:顺堤向围区内水流有相位差;由顺堤上缺口进出的水流流向与潮流方向近乎垂直,水流不顺.针对这种特征,制订围堤实施顺序和龙口选址的思路基本可归结为三类:第一类,建隔堤把围区分隔成几个小围区,每个小围区独立设龙口;第二类,涨潮沟下游端深槽先行筑堤断流,在沿沙脊的顺堤上设置多个

小龙口,把顺堤分成若干段,各段同步抬升,顺堤出水断流后几个龙口同步合龙;第三类,龙口设在涨潮沟下游端深槽进口,沿沙脊的顺堤分段先行实施,分段的原则是按沙脊上天然沟槽自然分段,先做高滩,再堵天然沟槽,最后合龙深槽龙口。以青草沙水库为例,三类方案的代表布局见图3。

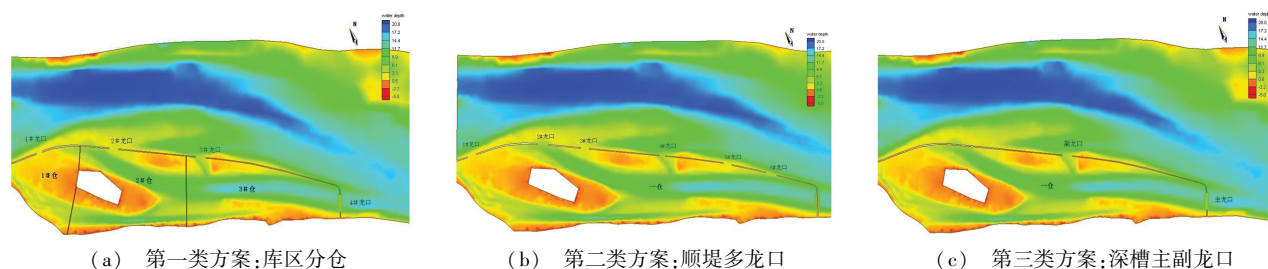


图3 围堤实施顺序与龙口选址三类代表方案布置图

Fig. 3 Schemes layout for construction procedures of dike and closing gap site

由于跨越深槽的隔堤工程量很大,且隔堤完全改变了涨潮沟水域的流场,对水流干扰大,极有可能引起沙脊大范围冲刷,因此,排除了第一类方案。

第二类方案先堵深槽再做顺堤,最后对几个龙口同步合龙。第三类方案的指导思想是:“先高后低、最后强攻”。高滩施工对水域的影响相对较小,施工初期保留既有较大的槽沟,在不明显影响涨潮沟水力特征的前提下,适当抬升涨潮沟进口高程,构筑龙口结构,在龙口构筑完毕、顺堤段除沟槽外都出水断流后,由上游往下游逐个封堵沟槽,最后集中力量合龙。

第二、第三类方案各有优缺点,前者先深后浅、先难后易、难度均化,后者循序渐进,便于管理、便于突击,孰优孰劣需深入量化研究。由于研究涉及水动力条件、施工组织和造价等多个方面,必须理清思路,组合多种手段,对比分析,综合评判。

3.2 水力分析

针对青草沙水库工程的数值计算表明,对第二类方案,涨落潮流的主流向与顺堤几乎平行,沿顺堤布置的上下游龙口之间水流相位差可达1 h左右,进出水步调不一致,导致在涨落潮过程中龙口规模作用部分相互抵消;无论选择几个龙口,无论单龙口的规模如何调整,每个龙口上的最大流速都超过3.5 m/s,下游端的龙口最大流速总是最大,在设计标准下超过6 m/s;进出龙口的水流流向与潮流推进方向近乎正交,导致龙口附近存在强烈的涡流,与涨潮沟口门上水流进出平顺形成对照(参见图4),既不利水流进出,又影响龙口安全;切断深槽进口的侧堤抬升到一定高度后过顶流速较大,从-5.0 m至0 m高程,流速从3.4 m/s增至6.0 m/s,高程超过1.0 m后流速开始回落;在深槽侧堤抬升过程中,顺堤上龙口或顺堤沿线沟槽上进出水流速明显增加。设计判断,用常规抛填沙袋和抛石筑堤工艺,侧堤施工过程中因遭遇大潮高流速而发生“冲刷-抬升-再冲刷”拉锯作业的风险很大,堤身不易出水断流;此外在侧堤抬升至-4.0 m之前,顺堤沿线必须全面实施保护,龙口必须构筑完毕,这就要求在侧堤施工的同时,顺堤也要全线开工,至少是全线护底开工。

对第三类方案,计算和整体试验均表明,在设计标准潮流条件下,深槽(侧堤)由-10.5 m河床填高到-4 m以下,对整个涨潮沟水域流场影响甚微;在深槽(侧堤)不高于-4 m高程时,顺堤线上除两个大的沟槽外其余堤段可同步填高;为了避免沟槽段有较大的水流变化,沟槽段应尽量维持现状,也可结合沟槽段护滩适当抬升整平至-1.0 m(原沟槽面高程约在-3.0 m以上)。按对深槽龙口影响不明显、遭遇主汛期设计标准潮型时龙口上流速不超过6 m/s、沟槽内流速不超过3 m/s的要求,同时结合实际地形,拟定上下游两个沟槽保留宽度分别为主汛期6 km和3 km,主汛期后收缩至3 km和1 km。深槽龙口形成后可将两个沟槽按先上游后下游的顺序逐个合龙断流,两个沟槽断流后主龙口上的流速可控制在6.5 m/s以下。水力分析表明,先堵深槽对顺堤上流场影响较大,而且深槽抬升过程中过堤流速增大,不易断流。

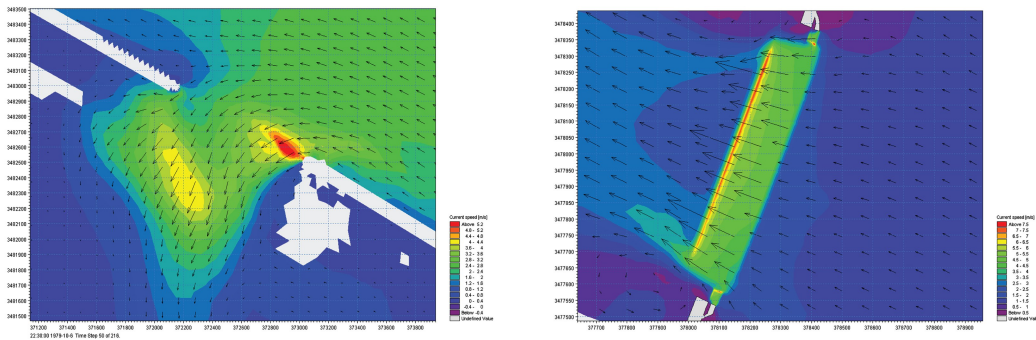


图 4 龙口侧向进水与正向进水的流场
Fig. 4 Comparison of inflow directions in closing gap

4 青草沙水库的实践

从施工组织的角度,多个小龙口合龙难度相对较小,但风险点分散,合龙同步的施工组织难以保证,不同步则极可能因一个龙口滞后而使整个工程合龙失败. 第三类方案顺堤施工比较容易,但难度高度集中在深槽龙口上,高流速难以避免. 青草沙水库工程方案论证阶段设计部门内部及相关水利、航道和施工等各方专家对两个方案的看法较为分散. 经反复研究和论证,最终决定采用方案三,原因在于虽然龙口流速很高,但风险点集中,易于管理和采取强化措施,可操作性强. 第三方案分析论证的方法、条件和工程进度等主要工况组合汇总见表 1.

表 1 水流数值模拟主要计算方案
Tab. 1 Cases of numerical flow simulation

研 究 目 的	研 究 手 段	水 文 条 件	实 施 时 机	研 究 方 案	
				编 号	方 案 简 述
初步分析两个阶段 (08 年汛后~09 年汛 前第一阶段, 09 年汛 后~10 年汛前第二阶 段)过程的水流特点, 以便安排实施进度.	二维 数学 模型	1. 汛期 10 年一遇潮差潮型 (考虑渡汛); 2. 2006 年 9 月实测潮型(复核)	第一阶段	(1)	仅实施侧堤,比较顶高程-8 m 至 2 m 等 6 种方案
			实施方案	(2)	顺堤中上段的三个沟槽升高至 0 高程
			比选	(3)	同时实施沟槽护底、高滩及侧堤潜堤等 5 个方案
		非汛期 10 年一遇潮差潮型 (汛后合龙)	第二阶段	(4)	顺堤上游两段抬高至 1.5 m,下游沟槽留 500 m 缺口
			实施方案	(5)	在(4)基础上,顺堤由 1.5 m 高程出水,同时抬升侧堤至不同高程,深槽留 800 m 龙口等 6 个方案
对推荐方案复核验证	物理模 型、二维 和三维 数学模型	汛期 10 年一遇潮型	一阶段复核	(6)	高滩出水、沟槽护底、侧堤实施至-3 m
			第二阶段	(7)	上游沟槽抬升至 1.5 m,同时收缩中间沟槽
		非汛期 10 年一遇潮型	(合龙前)	(8)	上游沟槽抬升出水,侧堤抬升至 0 m,形成主副龙口
				(9)	封堵中间沟槽
		12 月份 10 年一遇潮型	合龙	(10)	深槽龙口抬高或抬高同时收缩截流

第三方案具体做法可归结为:龙口选址以深槽为主,潮沟为辅;开工顺序为全线(多点)同步,护底超前;断流顺序为先高(滩)后低(槽);沟槽封堵,由上(游)往下(游)逐个进行;主龙截流,分层抬升,超强作业. 施工组织以主汛期界,将整个大堤合龙前建设分为两个阶段,一阶段实施形象如图 5,包括全部沟槽的铺排护底,二阶段填筑一阶段留下的堤段,要求在主汛期结束后至当年年底或次年年初主龙口合龙前达到断水.

施工实践证明,计算和验证揭示的不利水力现象都在实践过程中有一定程度的反映,但未发现明显超过预计的不利水力条件和冲刷情况. 其中,上游沟槽附近地形变化复杂,沟槽中的水流流向与堤线斜交,加之随着堤身抬高,围区内外侧水位差逐步显现,因而此沟槽封堵前流态最为复杂,局部瞬时实测流速达到约 4 m/s,比预计情况稍高,但历时较短;下游沟槽水流较为平顺,实际情况与研究结果接近,虽较高流速持续时间比上游沟槽长,但最大实测流速在 3.5 m/s 以下,未产生不利情况. 截流前半年多时间内,龙口上最大流速

略超 5 m/s , 比研究揭示的设计标准下 6.5 m/s 流速小, 龙口流态平稳, 直至截流成功。

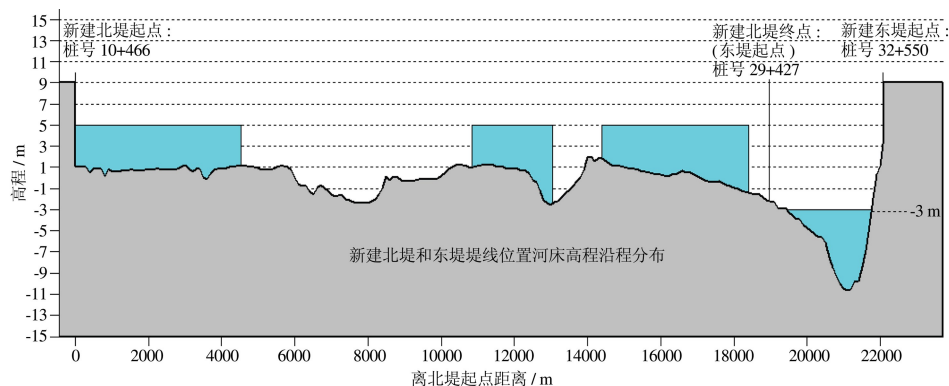


图5 青草沙围堤分期实施布置图

Fig.5 Layout for construction procedures of Qingcaosha dike

为避免堤身抬高引起流场变化而导致周边河床和滩面冲刷,应先超前铺排护底.合理确定超前护底的范围有利于合理组织施工和减小因保护不及时而造成的不必要的工程损失,意义重大.本工程计算和物模试验结果表明,滩面越深超前护底距离可以越短,高程在 -8.0 m 以下的深槽“超前” 300 m 以上即可,实践也证明这样的距离是合适的。

5 结 语

涨潮沟是潮汐河口特殊的地貌形态,可在一定的水沙条件下保持相对稳定.分析其形成和维持的机理,研究圈围的实施顺序和龙口选址,具有重要的现实意义.本文结合长江口大型江心水库——青草沙水库工程的研究实践,对特大型涨潮沟的圈围理论和实践进行了有益的探索,取得了一些值得借鉴的新认识。

(1) 水流分析验证了涨、落潮流路不一致是涨潮沟成因的理论,同时推断因水流在相对固定的平面位置上存在平面速度梯度,产生水平涡流,可能是产生涨潮沟与主槽间沙脊的力学机理;

(2) 实施顺序和龙口选址问题的关键点可归结为深槽先堵还是后堵;评判的主要标准是实施过程对水流的影响小,先实施的不能对后实施的产生大的不利影响.影响评判的因素有施工组织、工程投资和风险控制等,主要是水流特性,宜采用数物模多手段、多工况系统地研究比较;

(3) 龙口选址在涨潮沟深槽中(深槽龙口),围区水流进出平顺,施工期对滩势及河势影响相对最小;

(4) 深槽龙口方案按全线多点作业、先护底后筑堤、先高滩出水后沟槽截流、最后集中力量封堵龙口的实施顺序,前期水流影响小,施工易展开,后期虽龙口水流急、施工强度要求高,但风险点集中,易管理,应优先考虑;

(5) 先堵深槽方案,在顺堤上布置多个小龙口,因有相位差而使各龙口的规模作用部分抵消,加上多龙口合龙极难同步,特别是深槽中水流强劲,横断深槽的侧堤抬高到一定高程后难按常规方法出水断流,因而其可操作性和可靠性均较差。

参 考 文 献:

- [1] 季永兴, 卢永金, 莫敖全. 外沙内泓河段保滩护岸研究[J]. 上海水务, 2000(2): 24-28. (JI Yong-xin, LU Yong-jin, MO Ao-quan. Research on protection of beach and bank along flood channel in estuary[J]. Shanghai Water, 2000(2): 24-28. (in Chinese))
- [2] 王永红, 沈焕庭, 刘高峰. 河口涨潮槽的研究进展[J]. 海洋通报, 2003, 22(3): 73-80. (WANG Yong-hong, SHEN

- Huan-ting, LIU Gao-feng. A review of flood channels in estuaries[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(3): 73-80. (in Chinese))
- [3] 沈焕庭, 李九发, 金元欢. 河口涨潮槽的演变及治理[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(1): 83-89. (SHEN Huan-ting, LI Jiufa, JIN Yuan-huan. Evolution and regulation of flood channels in estuaries[J]. Ocean and Lake Science, 1995, 26(1): 83-89. (in Chinese))
- [4] 宋志尧, 严以新, 朱 勇. 河口涨潮沟形成的水动力学机制初探[J]. 河海大学学报, 2002, 30(4): 45-48. (SONG Zhi-yao, YAN Yi-xin, ZHU Yong. Hydrodynamic mechanism of flood tide channel formation at estuaries[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2002, 30(4): 45-48. (in Chinese))
- [5] 于东生, 田 淳, 严以新. 长江口水流运动特性分析[J]. 水运工程, 2004(1): 49-53. (YU Dong-sheng, TIAN Chun, YAN Yi-xin. An analysis of current characteristics at the Yangtze River Estuary[J]. Port & Waterway Engineering, 2004, 36(1): 49-53. (in Chinese))
- [6] 陈志昌, 罗小峰. 长江口南港及南北槽分汊口河床形态特征研究[J]. 水利水运工程学报, 2005(4): 1-5. (CHEN Zhi-chang, LUO Xiao-feng. Study on riverbed form of South Channel and South-North-Passage bifurcation in the Yangtze Estuary[J]. Hydro-Science and Engineering, 2005(4): 1-5. (in Chinese))
- [7] 黄建维, 高正荣. 长江近河口段河型规律与桥位选择[J]. 泥沙研究, 2007(6): 1-7. (HUANG Jian-wei, WEN Zheng-rong. Research on selection of bridge position and river patterns at the near estuary reach of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2007(6): 1-7. (in Chinese))
- [8] 刘新成, 卢永金, 杜小戮, 等. 长江口青草沙水库与河势关联的若干工程问题的数学模型分析[C]//中国水利学会河口治理与保护专业委员会. 人类活动与河口, 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (LIU Xin-cheng, LU Yong-jin, DU Xiao-tao, et al. Numerical model analysis on issues of the channel process related to Qingcaosha Reservoir[C]// Actions of Mankind with Estuary, Beijing: China Hydraulic and Hydroelectric Public Press, 2008. (in Chinese))
- [9] 武小勇, 茅志昌, 虞志英, 等. 长江口北港河势演变[J]. 泥沙研究, 2006(2): 46-53. (WU Xiao-yong, MAO Zhi-chang, YU Zhi-ying, et al. Channel processes of the North Channel of the Changjiang Estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2006(2): 46-53. (in Chinese))

Construction procedure and closure gap site selection for dike-closing project in large flood channel

LU Yong-jin¹, SONG Shao-hong², LIU Xin-cheng², YUAN Jian-zhong³, YE Yuan-xin²

(1. Shanghai Water Engineering Design & Research Institute, Shanghai 200063, China; 2. Shanghai Qingcaosha Investment Construction & Development Co., Ltd., Shanghai 201206, China; 3. Shanghai Investigation Design and Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract: Construction procedure and closure gap site selection for the dike-closing project in a large flood channel play a decisive role in the beach stability and success of the project. According to Qingcaosha reservoir research and practice, the mechanism of the shape formation and the stability of the flood channel in tidal estuary is analyzed, the research route for the construction procedure and the closure gap site selection of the dike-closing engineering is introduced. Based on the study of river hydrodynamics by numerical and physical models, and considering the factors of construction, the procedure is put forward: (1) high beach, (2) low channel, and (3) the site of the closure gap being set at low channel. The successful result may be taken as a general rule.

Key words: tidal estuary; flood channel; Qingcaosha; dike-closing; construction procedure; closure gap