

大浏港河道整治数值模拟

黄士力^{1,2}, 汪德¹, 胡欣², 卢鼎元²

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 上海市水务局, 上海 200232)

摘要:从太湖流域全局角度入手,在全面分析流域及大浏港水文情势及水动力特征变化的基础上,综合运用太湖流域河网模型和二、三维水流模型各种不同尺度的模型相结合的模拟手段,较为全面地开展了大浏港河道整治的数值模拟研究,并推荐了相应的整治方案。分析表明,推荐的方案能有效地实现保滩、导流、理顺河势,不影响下游黄浦江干流段的防汛安全。

关键词:河道整治;大浏港;数学模型;水文分析

中图分类号:TV861 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2010)S1-0041-04

大浏港是一条未经任何人工整治的天然河道,它具有平原赶潮河流的诸多综合功能和特性。它是黄浦江上游三大支流之一,是汇集浦南西片的敞开河网,承泄太湖流域嘉湖地区来水的主要通道之一。大浏港河道全长 5.6 km,西起小浏港和掘石港交汇处,向东转向北与黄浦江竖潦泾相连接,流经上海市金山、松江两区的边界。

1991 年以后,太湖流域按《太湖流域综合治理总体规划方案》组织开展了 11 项治太骨干工程建设,流域在上海市境内的主要泄洪通道如太浦河、红旗塘、拦路港~浏河~斜塘疏拓工程及黄浦江上游干流段防洪工程等先后完成,上海市亦对西部低洼地区进行了防洪工程达标建设,其中大浏港自张泾河口至竖潦泾段 1.5 km 河段的堤防工程列入黄浦江上游干流段防洪工程,已按 50 年一遇的设防标准全面完成建设,但张泾河以西至小浏港(掘石港)约 4.2 km 河段堤防仅仅在原有简易的航道护坡基础上,由地方进行了简单加高,其设防标准远未达到流域防洪治理标准,且年久失修,迫切需要进行大浏港防洪工程达标建设。同时,大浏港由于杭嘉湖地区来水和黄浦江潮流的相互作用,形成河道内径流量大、流速湍急的特点。流域水势工情的变化使大浏港河床两岸冲淤变迁加剧,河床水流中心线已向南偏移 36~50 m,河底刷深,多处河段深槽直逼南岸,更危及河道行洪安全。2001 年曾发生河堤崩塌事件。尽快开展大浏港河道整治研究、实施大浏港防洪工程建设,可确保两岸地区的防汛安全,有利于

上海经济、社会的持续快速发展和人民生命财产的安全。

河道整治可控导局部河势,合理的措施有利于促进河道向对防洪有利的方向演变^[1-2]。鉴于大浏港所处的特殊位置,进行该河道整治研究,不可能只单独考虑大浏港 1 条河道,而必须在太湖流域的范畴中开展研究工作,提出符合上下游要求的合理整治方案。本次研究要求的空间尺度跨度很大,难以采用物理模型开展研究,而数学模型具有全面、灵活、快速的优点,已成为实践应用的重要工具^[3]。为此,作者从太湖流域全局角度入手,在全面分析流域及大浏港水文情势及水动力特征变化的基础上,运用太湖流域河网模型^[4]和二、三维水流模型^[5]各种不同尺度的模型相结合的模拟手段,从治河角度而非简单加高加固堤防入手,开展了大浏港河道整治的研究,并推荐了相应的整治方案。

1 大浏港河道现状及存在的问题

1.1 河道现状及演变趋势分析

大浏港位于浦南西片最东端,流域杭嘉湖区及上海市西部洪、涝水汇流大浏港,然后东泄黄浦江,流量大,流速急。同时,作为黄浦江上游的三大支流之一,受黄浦江涨潮流的影响较大,尤其在汛期台风高潮期间,风暴潮增水的影响更大。受洪水、潮水的双向影响,大浏港的河道滩势发展趋势一直是北淤南冲。从总体上看,北岸堤前高滩(高程 2.00 m 以上)宽阔、平缓(坡度约 1:10 以下),南岸临堤滩地低,

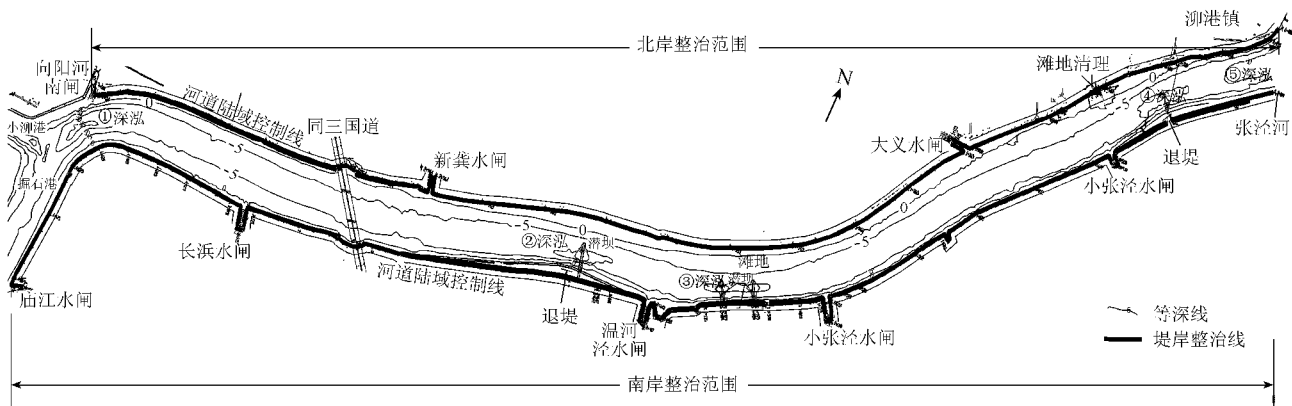


图1 大柳港整治工程

坡降陡(1:1~1:3之间),河道主槽严重偏南,河床水流中心线已向南偏移36~50m;自温河泾至金山区新农镇三图村渡口之间河段的北侧-5m线甚至接近于河道中心线;从同三国道到张泾河口河段,主河槽紧贴南岸,威胁南岸堤防。遏制偏南主槽继续向南岸迁移已刻不容缓。

实测水下地形图显示(图1),大柳港河底刷深显著,河底高程约为-7.60~-16.00m,而且在弯道及河道交汇处形成5个河底深泓(深度均超过-10m),自西向东分别为:①号深泓。位于大柳港、小柳港、掘石港3条河交汇处,最深处达-15.60m。②号深泓。位于同三国道和温河泾之间的束窄段(桩号S2+500~S3+000之间)最深处为-11.00m,位置逼近南岸堤防。③号深泓。位于温河泾和小张泾之间的弯道处(桩号S1+880~S2+200之间),最深处为-11.70m,位置逼近南岸堤防。④号深泓。位于金山区新农镇三图村渡口西侧原河堤坍塌下游(桩号进S0+200~S0+500之间),最深处为-11.50m,南岸滩地冲刷变陡,直接导致2001年9月22日该段河堤突然坍塌,护岸连带圩堤全部坍塌河中。⑤号深泓。位于张泾河入口处(桩号0+120以东),最深处为-13.80m。综观5个深潭互为犄角,有形成发育成长之势,有必要采取相应的工程措施切断局部深潭的发展。

1.2 存在问题

根据近年来大柳港河道出现的险情和大柳港水下及陆域地形测量报告,大柳港目前存在的主要问题是:①堤防建设标准偏低,堤身及防汛墙损坏严重,部分河段墙体甚至倒塌。②支河建筑物挡水高度不足,不能适应流域工情、水情的变化,防洪标准低。③河道南侧防汛堤脚冲刷严重,危及堤身安全;北岸淤滩,不利行洪。④缺少防汛抢险通道,堤防巡检、防汛抢险困难。⑤与规划要求相差甚远。新一

轮流防洪规划提出了近期防洪建设的重点是完善流域防御各种不同降雨典型的50年一遇洪水的工程措施,并对流域防御100年一遇洪水措施进行了总体安排,大柳港作为流域杭嘉湖区域的行洪通道,其设防标准远期必须达到100年一遇防洪标准,而目前大柳港的堤防现状与流域新一轮规划要求相差甚远。

2 大柳港水文及水动力特征分析

2.1 水文分析

该区为平原感潮河网地区,大柳港等河道均受黄浦江潮汐的影响。黄浦江受长江口非正规半日潮的影响,1天有2个高潮,2个低潮。涨潮历时平均4~5h,落潮历时平均7~8h。同时,上游洪水也直接影响该区河道水位。因此,大柳港水位受气象、潮汐、上游来水的共同影响。大柳港河段及附近的水文(位)站有柳港、夏字圩、米市渡等水文站,因此,该工程设计可选用柳港站、夏字圩、米市渡为代表,并以位于该工程段的柳港站资料为主要设计依据。

近年来,随着流域治理和地区性配套治理工程的不断完善,上游骨干河道开通、疏拓,使水势强度发生了一定的变化。同时,流域及地区性水利建设和圩区排涝泵站增加,加大了向外河排水的强度,洪水归槽,至使外河水位不断增高。特别在太浦河和红旗塘开通、拦路港扩大后,上游泄水和下游纳潮的强度加大。据水文测验资料显示,米市渡站1916~1988年最高水位为3.80m,仅发生过3次(1921年、1954年、1987年),而1989年、1991年、1992年、1993年、1997年出现的最高水位均超过了历史值,分别达到了3.86m、3.85m、3.92m、3.96m、4.21m,超过3.30m原定警戒水位的次数也大幅度增加(1993年为108次)。1954年以来位于上游干流段的3个主要站年最高水位见表1。

表 1 大泖港附近 3 个站最高水位

年份	最高水位/m			年份	最高水位/m		
	米市渡	泖港	夏字圩		米市渡	泖港	夏字圩
1954	3.80		3.65	1993	3.96	3.91	3.86
1987	3.80	3.79	3.79	1994	3.76	3.74	3.59
1989	3.86	3.88	3.87	1995	3.74	3.72	3.64
1991	3.85	3.84	3.79	1996	4.03	3.94	3.77
1992	3.92	3.84	3.77	1997	4.21	4.20	4.19

根据近年来实测水位的变化 ,1998 年上海市水文总站用水文分析方法将米市渡、泖港和夏字圩等 3 个站的历史实测水位资料进行频率分析。计算成果见表 2。由表 2 可知 ,目前 50 年一遇同频率的高潮位由于工情变化已相应抬高了 20 cm 以上。

由于水文分析方法不能预测未来工情引起的水情变化 ,而且太湖流域的工程情况使流域河网形成较强的人为干扰水系的特性。上述分 2 段水位系列进行一致性修正的方法已坦化了黄浦江上游干流段水情变化的程度。因此 ,表 2 所列的成果是偏低的。将米市渡等水文站系列延长至 1997 年 ,得到米市渡、夏字圩、泖港(1954 ~ 1997 年系列)百年一遇的高潮位分别可达 4.31 m 4.28 m 4.17 m ,50 年一遇高潮位分别为 4.25 m 4.22 m 4.17 m ,可以看出随着流域综合治理工程的加快实施 ,区域外河水位逐步抬高 ,黄浦江上游地区是洪、潮双向敏感地区 ,水位抬高更为明显。

2.2 黄浦江来水变化

太湖流域河网模型是研究太湖流域水势工情变化非常实用有效的工具。利用该河网模型 ,分析了流域十大骨干工程实施后黄浦江上游 3 支来水比例的变化情况。着重分析 5 个断面 ,分别为拦路港东方红大桥、太浦河泖河口、园泄泾、大泖港及黄浦江崧浦大桥涨、落潮的变化情况 ,得到如下基本成果 :①洪水年太浦闸泄洪 ,枯水年份太浦闸及泵站为上海市环境用水供水 ,该支的净泄量占黄浦江崧浦大桥泄量的 70% ~ 78%。②杭嘉湖地区洪水从大泖港排入黄浦江的泄量有所减少 ,原来 3 支中大泖港净泄量将减少 ,而且园泄泾净泄量比原来有所减少。③从涨潮阶段流量来看 ,园泄泾和大泖港涨潮流远远大于拦路港和太浦河。④从涨潮流历时来看 ,园

泄泾和大泖港涨潮流历时大于拦路港和太浦河。⑤由于斜塘来水较大 ,大部分涨潮流被逼进入大泖港和园泄泾。

2.3 大泖港水动力学特征

运用二、三维水流模型分析了大泖港河道的现状水势 ,模拟结果表明 ,涨潮时偏向南岸的河道主槽流速大 ,北岸浅滩流速小。落潮流态也相似。大流速区明显偏向南岸 ,对南岸的弯道形成顶冲之势 ,导致河岸冲刷加剧 ,形成局部的险段 ,长期淘刷积累将会导致护岸的坍塌。同时 ,某些局部河段受阻流设施的影响流态紊乱 ,不利防洪。

3 河道整治措施及方案论证分析

3.1 整治措施制定原则

大泖港河道南岸冲刷 ,北岸淤积 ,河道主槽严重偏南 ,南岸险工段防汛压力突出。为保证岸线的顺畅自然和河床相对长期稳定 ,从分析河势入手 ,理顺河道 ,尽量使主流居中。通过经济、合理、有效的工程措施 ,调整大泖港水势 ,拟利用水流自身动力作用 ,使主槽自然居中 ,形成稳定的河势。实现大泖港行洪、防汛、除涝、航运和水生态环境等功能定位要求。据此 ,针对不同的工段险情 ,采用相应的手段 :①深潭逼岸河段 :引导主流 ,加固堤岸 ,切断深潭发育 ;②局部高滩和形成障碍的河段 :切滩清障 ,疏通水流 ;③河势严重不顺及束窄的河段 :退堤还河 ,理顺水势。

3.2 河道堤岸整治线

根据大泖港水流特性和坍塌原因、一维河网数学模型计算及三维水流数学模型现状计算的成果 ,确定了大泖港河道堤岸整治线 ,见图 1。堤岸整治线与原堤岸大体一致 ,以下 2 处适当平退 :①狭窄河段退堤位置(桩号 S2 + 517 ~ S3 + 248) ;②堤防边滩陡峭处退堤位置(桩号 S0 + 000 ~ S0 + 532.1) ,该处是 2001 年 9 月 22 日的坍岸出险段 ,并已在 2002 年按退堤方案完成应急除险加固。

3.3 导治工程措施的拟定

在河道淤滩及深泓发展趋势分析以及一维河网数学模型计算和二维现状水动力计算成果基础上 ,初步拟定河道导治工程可能采用的措施。根据拟定

表 2 水文频率分析工情引起水情变化对照

站名	1954 ~ 1988 年未计工情影响的水位频率/%				1954 年 ~ 1995 年考虑工情影响进行系列一致性修正 后的水位频率/%				同频率水位增量/%			
	1	2	5	10	1	2	5	10	1	2	5	10
米市渡	3.91	3.86	3.79	3.72	4.19	4.12	4.01	3.91	0.28	0.26	0.22	0.19
泖 港	3.88	3.84	3.76	3.70	4.16	4.09	3.98	3.88	0.28	0.25	0.22	0.18
夏字圩	3.85	3.80	3.73	3.67	4.08	4.00	3.90	3.80	0.23	0.20	0.17	0.13

注 :1% 对应 100 年一遇 ,2% 对应 50 年一遇 ,5% 对应 20 年一遇 ,10% 对应 10 年一遇。

的措施进行方案组合论证分析 ,最终确定优选工程方案。

a. 保滩/淤滩的治理工程措施。鉴于南岸堤防面临的险情 ,初步拟定在南岸布置顺坝、丁坝群或顺坝加丁坝群 3 种导流建筑物的治理工程措施。拟通过导流建筑物 ,调整南岸段的水流流速 ,淤滩/保滩稳定堤脚 ;导治工程实施后 ,允许利用水流自身动力作用对北岸淤滩严重的区域形成局部冲刷。

b. 护坡保滩的治理工程措施。根据南岸坍塌的范围及可能进一步冲刷坍塌趋势 ,结合水动力计算成果 ,对已因冲刷造成坍塌和今后可能会进一步坍塌的河段 ,采用与堤防加固设计相结合的方式 ,提出局部护坡护底的工程措施 ,以阻止水流对其进一步淘刷 ,避免堤岸持续坍塌。

3.4 方案论证分析

3.4.1 方案组合

根据初步制定的治理措施 ,利用数学模型进行了各种方案组合的论证与计算。依次共设计了 4 个方案组合 ,各方案的堤岸整治线保持一致 ,各方案主要集中于河道导治措施的差异。

3.4.1.1 方案 1

在②号深泓位置设单道抛石潜坝 ,在③号深泓处设 2 道抛石潜坝 ,切断深泓的发展。潜坝由抛石组成 ,坝顶高程为 - 5.00 m ,顶宽 5 m ,边坡 1:1.5。在潜坝附近沿线堤岸抛石护岸直至 0 m 线 ,以防止冲刷 ,边坡 1:2。在已出险段(桩号 S0 + 000 ~ S0 + 531.5)和②号深泓附近(该河段河口狭窄 ,桩号 S2 + 517 ~ S3 + 248) 现有堤线位置退后新建堤防。计算时按高程 3.00 m 计。清理沿线滩地。主要位于 N0 + 550 ~ N0 + 658 之间。

3.4.1.2 方案 2

在方案 1 的基础上 ,于③号深泓位置(桩号 S1 + 880 ~ S2 + 200 之间)处设置 20 m 导流短丁坝以实现整流保滩的需要。其余工程要求和计算条件同方案 1。

3.4.1.3 方案 3

在②号和③号深泓位置处各设 2 道抛石潜坝。潜坝由抛石组成 ,坝顶高程为 - 7.00 m ,顶宽 5 m ,边坡 1:1.5。在③号深泓位置(桩号 S1 + 880 ~ S2 + 200 之间) ,从整流保滩需要设置了 6 条挑流丁坝 ,其中 2 条丁坝与深泓潜坝连为一体。丁坝为抛石结构 ,坝顶高程 2.00 m ,伸入河中 10 m ,计算丁坝顶宽 5 m。退堤线方案与方案 1 相同。

在清理沿线滩地的同时 ,对在桩号 N1 + 659 ~ N2 + 154 河段北侧滩地进行挖深 ,使河道主槽适当北移 ,改善流态。

3.4.1.4 方案 4

潜坝设置与方案 3 相同。不用丁坝导流在潜坝附近沿线堤岸设置顺坝(桩号 S1 + 828 ~ S2 + 135 之间) ,坝顶高程 2.00 m ,伸入河中 10 m。疏浚清理同方案 3。

3.4.2 方案计算分析

3.4.2.1 方案优选

根据拟定的工程方案 ,进行了计算分析论证。研究表明 :在所有的整治方案中 ,涨潮时原偏向南岸的河道主槽流速明显偏向北岸 ,北岸浅滩流速加大。落潮流态也相似。这有利于弯道北岸(凸岸)河床的冲刷 ,增加水深 ,防止对南岸的弯道形成顶冲之势 ,导致河岸冲刷加剧 ,引起护岸坍塌。方案 3、4 的整治作用较之方案 1、2 稍优。即由于整治工程方案 3、4 实施后 ,河道中心线附近的流速增大 ,改变了原有主流速严重偏南的流速分布特征 ;北岸流速略有增大 ,但是增加幅度较小 ,不会引起北岸冲刷。由于方案 4 采用顺坝 ,碍航影响较小 ,故方案 4 为建议整治工程方案。

3.4.2.2 推荐方案对黄浦江干流段的影响分析

选取张泾河至黄浦江段的某断面 ,比较了工程实施前后涨急和落急的流速及水位在横断面上的分布。从图 1 中可以看出 ,整治工程没有改变下游段的流态 ,这也表明工程不会影响下游黄浦江干流段堤岸的防汛安全。

3.4.2.3 推荐方案的三维分析

在二维分析基础上 ,对推荐方案进行了局部三维模拟 ,以全面研究整治工程对河道水流流态的影响。选取 5 个特定位置的点分析了工程对河道水流的影响。工程前后这些点处表层流速和底层流速值列于表 3。从表 3 可以看出 ,该工程方案对上下游有一定的影响 ,潜坝上下游点 4 和点 5 流速有变化 ,但变化幅度不大。因潜坝对断面有所束窄 ,故潜坝顶部位置(点 1)表层和底层流速在工程后有所增加。

表 3 表层流速和底层流速对照 m/s

取点位置		涨急		落急	
		表层流速	底层流速	表层流速	底层流速
工程前	1(潜坝顶)	0.78	0.51	0.92	0.55
	2(潜坝中)	0.80	0.52	0.90	0.56
	3(靠北岸)	0.57	0.38	0.67	0.36
	4(上 游)	0.73	0.47	0.96	0.59
	5(下 游)	0.74	0.50	0.91	0.59
工程后	1(潜坝顶)	0.89	0.65	0.98	0.70
	2(潜坝中)	0.75	0.45	0.82	0.49
	3(靠北岸)	0.57	0.37	0.71	0.49
	4(上 游)	0.71	0.45	0.91	0.57
	5(下 游)	0.71	0.47	0.91	0.58

(下转第 60 页)

2.2.3 地热能评价

利用热储体积法计算出研究区地热储层的热能总量 结果为 $283.9069 \times 10^{15} \text{ kJ}$,相当于 $39.42 \times 10^8 \text{ t}$ 的标准煤所具有的能量。这里仅计算各热储层中所含地热能 ,黏土层未考虑于其中 ,这是由于黏土的透水性差 ,其所含热量不能以水为载体被采出。

对比表 4、表 5、表 6 得出 利用回采系数法计算的地热能可开采量远大于由可开采水量换算法计算所得的地热能可开采量。这是由于地热能量的开发利用主要以水为载体 ,在沉积盆地热储不考虑岩石中储存的热量 ,因此认为由可开采水量换算法计算的可开采热量比较符合实际。

3 结 论

在开采期限 30 年、最大允许降深 50 m 条件下 ,

(上接第 44 页)

在其余点处 ,工程后的流速均小于工程前的流速。在河道工程布置位置的北岸(点 3)流速有所上升 ,而 2 个潜坝中间位置(点 2)底层流速和表层流速都相应减小 ,这是因工程实施后 ,河道主流向北岸偏移所致。

4 结论与建议

该整治研究采用全流域河网模型结合局部河段的二、三维数值模型模拟技术 ,分析了不同典型年最不利条件下河道流速场的分布特征 ;依据现状水动力特征拟定了整治的基本措施 ,逐步深入地分析不同的组合方案 ,对比分析拟定整治方案下河道流态的变化情况 ,确定主流居中 ,顺直自然的优化整治方案。结论如下 :

a. 太湖流域河网模型计算成果分析显示 ,流域十大骨干工程实施后黄浦江上游 3 支来水比例发生了变化。由于杭嘉湖地区洪水南排杭州湾效果显著 ,大泖港净泄量将会显著减少 ,园泄泾净泄量比原来也有所减少。由于斜塘来水较大 ,大部分涨潮流被逼进入大泖港和园泄泾 ,从涨潮流量看 ,园泄泾和大泖港涨潮流远远大于拦路港和太浦河 ,而且涨潮流历时也长。

b. 基本流态计算表明 ,涨潮时偏向南岸的河道主槽流速大 ,北岸浅滩流速小。落潮流态也相似。大流速区明显偏向南岸 ,正是由于现状较低标准的

开封凹陷区的地热水可开采量为 $105\,345.1 \text{ m}^3/\text{d}$,地热能总量为 $283.9069 \times 10^{15} \text{ kJ}$,地热能可开采量为 $236.5542 \times 10^{12} \text{ kJ}$ 。

参考文献 :

[1] 河南省地质工程公司. 豫北平原地热资源调查报告[R]. 郑州 :河南省地质调查院 ,2003.
[2] 陈崇希 ,林敏. 地下水动力学[M]. 武汉 :中国地质大学出版社 ,1999 :71-72.
[3] 河南省第二水文地质工程地质队. 河南省开封凹陷区地热资源计算与评价报告[R]. 郑州 :河南省地质矿产开发局 ,2007.
[4] DZ40—1985 地热资源评价方法[S].
[5] 王心义 ,李建华 ,林学钰 ,等. 开封市地热系统特征[J]. 水科学进展 ,2002 ,13(2) :192-196.

(收稿日期 2009-10-16 编辑 :高建群)

河道堤防和局部滩地造成了不利的流势条件 ,对南岸的弯道形成顶冲之势 ,导致河岸冲刷加剧 ,形成局部的险段。

c. 大泖港河底刷深显著 ,主槽严重偏向南岸 ,河底高程约为 $-7.60 \sim -16.00 \text{ m}$,而且在弯道及河道交汇处形成 5 个河底深潭。综观 5 个深潭有互为犄角 ,形成发育成长之势。有必要采取相应的工程措施切断局部深潭的发展 ,同时遏制偏南主槽继续向南岸迁移。

d. 计算分析论证了 4 组方案。推荐方案 4 为整治工程优选方案。分析表明 :方案 4 实施后能够有效起到导流作用 ,不会造成北岸滩地的过度冲刷 ,而且也不会影响下游黄浦江干流段堤岸的防汛安全。

参考文献 :

[1] 钱宁 ,张仁 ,周志德. 河床演变学[M]. 北京 :科学出版社 ,1987.
[2] 姚文艺 ,王卫红 ,李勇. 基于河势稳定原理的黄河游荡性河道整治机制研究[J]. 水利学报 ,2007(10) :1172-1177.
[3] 汪德 . 计算水力学理论与应用[M]. 南京 :河海大学出版社 ,1989.
[4] 程文辉. HOHY22 模型使用手册[M]. 南京 :河海大学出版社 ,2000.
[5] WL Delft Hydraulics. User manual Delft 3D-Flow[M]. Netherland :Delft Hydraulics ,1999.

(收稿日期 2009-04-16 编辑 :方宇彤)