



长江南京以下深水航道治理对策 及建设思路研究

陈晓云

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 长江南京以下航道自然条件优越, 随着水利、水运工程的不断建设, 总体具备大型海轮进江的基本条件, 但有部分浅区制约着航运效益的整体发挥。20世纪90年代启动南京以下深水航道系统治理研究, 基于对河道演变与航道格局的长期研究认识, 逐步形成了“整体规划、分步实施, 自下而上、先通后畅”的建设思路和“把握有利时机、控制关键部位; 因势利导、循序渐进; 因地制宜、统筹兼顾”的治理原则, 为尽快实现长江口12.5 m深水航道上延南京提供了技术可行方案。

关键词: 长江南京以下; 深水航道; 治理对策; 建设思路

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)S1-0137-08

Regulation method and construction thoughts of deep-water channel of the Yangtze River below Nanjing city

CHEN Xiao-yun

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: The navigation channel of the Yangtze River below the city of Nanjing has an excellent natural condition. With lots of water conservancy and waterborne projects underway, this channel possesses essential conditions for large-sized seagoing vessels sailing into the Yangtze River, but there exist some shallow areas that restrict the navigation benefits. In the 1990s, a research program for the systematic regulation of the deep-water channel of the Yangtze River below Nanjing was initiated. Based on the long-term research on the river process and channel situation, the construction thoughts of “integrated planning, implementing in stages, regulating from the lower to the upper, opening and then smoothing”, and the regulation principles of “taking the best time and circumstances, controlling the key part, implementing progressively, planning globally adapting to local conditions”, were gradually formed, which provides a technically-feasible scheme to realize the extension of the 12.5m deep-water channel in Yangtze River from the estuary to Nanjing.

Key words: Yangtze River below Nanjing; deep-water channel; regulation method; construction thoughts

1 概况

随着长江口12.5 m深水航道建成并于2011年1月8日正式上延至江苏太仓后, 继续将深水航道上延至南京龙潭港区, 全年通行5万吨级海轮成为江苏省经济社会发展的迫切需求。

太仓港至龙潭港距离280 km, 该河段为冲积平原河流, 河床边界抗冲性差, 加之受到不同程度的潮流影响, 水动力条件与泥沙运动规律复杂, 以江阴鹅鼻嘴山矾为界分为上下两类不同河型。江阴以上属近河口段, 河床演变主要受径流

收稿日期: 2011-07-18

作者简介: 陈晓云(1952—), 女, 教授级高工, 主要从事长江干线航道整治规划、设计与研究工作。

控制,潮流影响较小,沿江有多处天然节点,河道平面形态为宽窄相间的藕节状。节点处江面宽度1.1~1.5 km,河槽窄深稳定;节点间江面宽达3~10 km,流路分散、江心洲众多。江阴以下属河口段,河道自上而下逐渐展宽,河床演变受径流和潮流的共同作用,潮流影响较大。河道中有大量发育未成熟的散乱沙群或潜洲,易受水流切割,沙群分合频繁,水道兴衰交替,河床冲淤多变。近60年来,大量的护岸及围垦工程使南京以下河道逐步缩窄,水流动力轴线摆幅减小,沙洲并岸、支汊减少,河道形态由复杂的多分汊型向

简单分汊型演变,总体河势向稳定方向发展。

长江南京以下于1965年开通海轮进江航道,计划水深7.1 m,由于洲滩冲淤变化剧烈,曾一度只能维持航深6.8 m。随着南京以下河势逐步稳定,通过疏浚与调整航标等维护管理措施,2003年航深提高到10.5 m,与长江口深水航道建设二期工程同期发挥了航运效益。根据近20年观测资料分析,长江南京以下94%的航段航道水深稳定在12.5 m,总体航道条件优良,但有仪征、和畅洲、口岸直、福姜沙、通州沙、白茆沙等6处浅区(图1),制约着深水航道整体效益的发挥,需要进行航道治理。

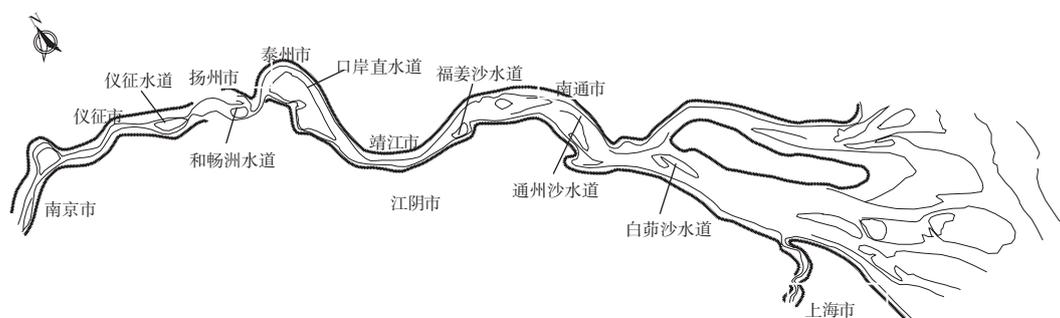


图1 长江南京以下浅区分布

其主要问题大致分为3类:1)历史上曾经严重出浅的白茆沙、通州沙水道,目前演变发展到了航道条件相对较好的时期,但近期滩槽格局出现向不利方向发展的态势,需要采取工程措施维持相对有利的洲滩格局,确保深水航道稳定畅通;2)历史上航道条件相对较好的水道,如口岸直上浅区、和畅洲、仪征,河道条件已经发生或正在发生不利变化,需要采用工程措施逐步调整或控制不利变化,满足深水航道要求;3)受自然条件限制和自身演变双重影响,航道条件不满足深水航道要求,如口岸直水道下浅区、福姜沙水道,需要采取工程措施因地制宜塑造有利的航道格局,从而提高航道尺度。

由于长江南京以下河道开阔水流分散、径流与潮流不同动力变化、河口咸淡水交汇造成泥沙运动规律复杂以及水资源综合利用需求增长快等诸多因素,在这个河段开展航道治理工作,工程技术复杂,建设投资巨大,环境协调要求高,统

筹兼顾的内容多,决策难度大,需要系统研究、缜密思考、稳步推进。

2 对策研究

2.1 整体河势与水文情势分析

资料记载^[1],2 000多年以来,南京以下河道历经了沧海桑田的变化,长江河口从镇江、扬州一带逐步下移到江阴,见图2a),b)。20世纪50年代以后,徐六泾人工节点逐步形成,河宽由13 km缩窄到5.7 km,随着长江口综合整治规划逐步实施,目前徐六泾河宽已经缩窄到4.5 km,成为长江河口最后一个节点,见图2c),其上下游水沙运动的相互影响逐渐减弱。江阴至徐六泾90 km河段,由于进口有江阴天然节点、出口有徐六泾人工节点的控制,中段又有逐渐形成的九龙港人工节点和龙爪岩天然单侧基岩节点等有利因素,主流大幅频繁摆动的局面已经结束,流路基本稳定。随着时间的推移与人为控制的加强,进入徐

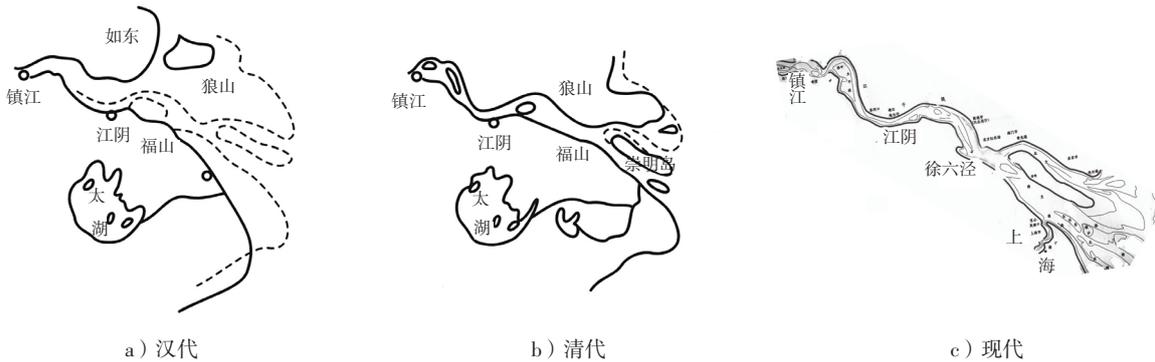
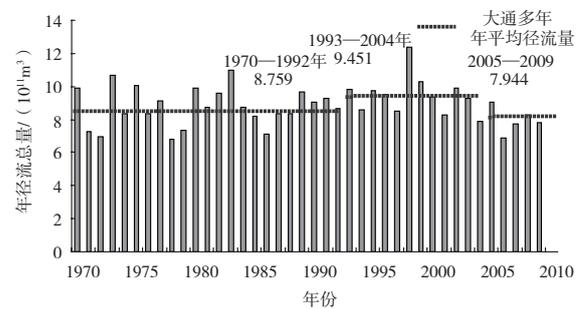


图2 长江河口历史变迁

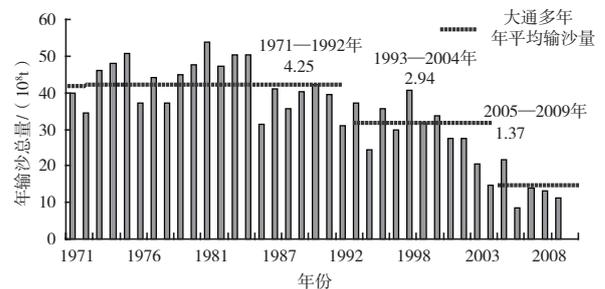
六泾以上的潮量逐步减少，潮流动力相对减弱，径流动力更加明显，江阴至徐六泾河段逐渐由动荡的河口型向河势趋于稳定的近河口型演变^[2]，为长江口深水航道自下而上延伸至南京奠定了有利的河势基础。

然而，近年来的水文情势对以径流为主的河道演变规律产生了趋势性的影响。以长江干流最后一个径流控制站大通水文站（距南京上游 240 km，长江感潮河段的上界）观测资料为例，年径流量周期性变化比较明显，而年输沙量自 20 世纪 80 年代后期呈减小趋势（图 3），年均输沙量从 4.25 亿 t 下降到 2.94 亿 t，特别是 2003 年三峡水库蓄水后明显下降，只有 1.37 亿 t。输沙量减少的趋势使河道冲淤规律发生一定的变化，水流沿程冲刷成为主要特征。一方面，有利于航槽稳定的洲滩边界被逐步破坏，且恢复性差，保护近年来已经形成的航道格局成为南京以下航道治理工作的当务之急；另一方面，在水流挟沙能力尚不饱和的情况下，借助水流能量，降低整治工程对河床地形的调整力度，也可以达到加大浅区泥沙冲刷强度、提高航道尺度的目的，环境代价比较小。同时选择对航道演变起关键作用的部位进行人工控制，利用水流冲刷为主的阶段特征，推进未受控河段河床自我调整的速度，依靠水动力创建自然和谐的河床形态，用时间换取空间，取得事半功倍的整治效果。

目前的水文特征为南京以下航道系统治理采取分步实施的方式创造了有利条件，也使航道治



a) 1970年以来径流总量



b) 1971年以来输沙总量

图3 大通站历年径流总量和输沙总量变化

理工作与环境友好协调有了调节的时空。尽可能地依托现有河势与航道格局，选择关键部位进行人为控制，加快浅区河段深水航道的形成，结合疏浚措施，在较短的时间内实现 12.5 m 深水航道初步通达南京，成为在复杂环境下推进航道治理建设的工作策略。

2.2 工程关键部位选择

通过大量的资料分析与试验研究^[3]，对 6 处浅区的形成机理与演变趋势有了清晰的认识，在河势控制规划的基础上，形成了南京以下深水航道总体治理方案。为了在诸多变化因素和纷杂的现象中，抓住主要矛盾和内在动力条件，找到控制浅区河床演变的关键部位，在总体治理方案基础

上,进一步开展了对单项工程作用、不同单项工程组合效应、相互关联性以及对环境的影响等系列研究,并进行排列比选,确定了对6处浅区河段先期进行工程控制的关键部位。

2.2.1 白茆沙水道

长江出徐六泾后进入开阔的河口段,河口呈喇叭型三级分汊、四口入海格局,至吴淞口江面宽达17 km,入海口宽达90 km,白茆沙水道处于第一级分汊南支河段的上段。白茆沙为江中暗沙,将水道分为南、北两个汊道,由于沙体活动性强,导致主支汊频繁易位,20世纪70年代维护7.1 m航深都极为困难。90年代白茆沙水道航道格局发展到历史较好时期,南汊主航道水深在15 m以上,北汊水深也达到10 m,南北汊分流比处于相对合理状态。2000年以后,北汊分流比逐渐减小,进口呈淤积态势,南汊分流比增大,白茆沙沙头及南岸边滩持续冲刷后退,沙体存在冲刷切割趋势,主航槽进口河段向宽浅方向发展,并对南支下段航道造成不利影响。为抑制河势的不利变化,避免较大的格局动荡,首先控制白茆沙头的后退,同时逐步塑造合理的分汊口门的河床形态,是该水道航道治理的关键(图4)。

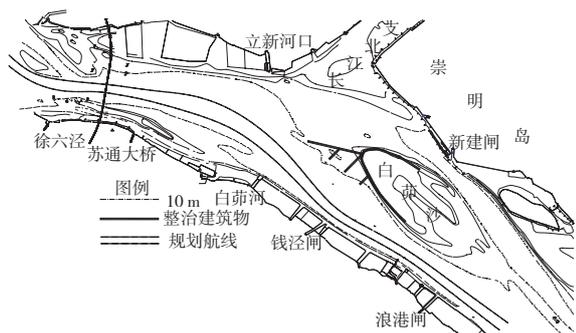


图4 白茆沙水道河势图及洲滩控制关键部位

2.2.2 通州沙水道

通州沙水道上起龙爪岩,下至徐六泾,最大河宽10 km,历史上江中多处暗沙及汊道,主支汊兴衰交替频繁易位,船舶航行十分困难。20世纪90年代以来,由于上游河势得到一定程度的控制,主航槽长期稳定在通州沙东水道和狼山沙东水道,分流比在90%以上,航深基本维持12.5 m。

由于主航道右边界为活动性很强的暗沙,近年来冲刷后退十分剧烈,河道不断展宽,深泓大幅摆动,江中生成新的沙体挤压主航槽,航道水深呈减小趋势。同时由于主流不断西移南偏,导致苏通大桥桥区航线弯曲,产生安全隐患。由于该河段河道综合整治规划中的基本河势控制工程还未实施,为使深水航道尽可能保持目前相对有利的边界条件,按照规划先行进行通州沙、狼山沙右缘守护,抑制其后退已经成为该水道航道治理的急迫任务(图5)。

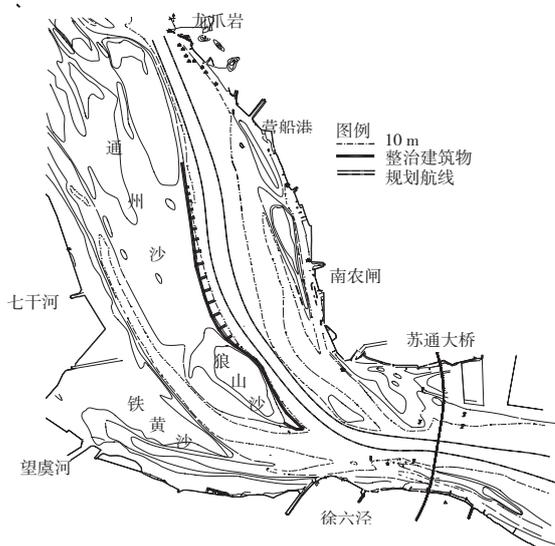


图5 通州沙水道河势图及洲滩控制关键部位

2.2.3 福姜沙水道

福姜沙水道上起江阴鹅鼻咀,下至九龙港,福姜沙和双涧沙将河道分为南、中、北三汊,三汊水深均不满足12.5 m深水航道条件。由于特殊的地理地貌条件,南汊弯窄,分流比多年保持在20%左右,并能基本维持10.5 m的单线航道。北汊弯曲,出口狭窄,分流比多年保持在30%左右,水深在7~10 m周期性变化。中汊进口分流比30%,出口达50%,水深在4~13 m周期性变化。双涧沙在大量自北向南的越滩流的冲刷下,头部潜洲频繁冲失消长,中汊与北汊的航道条件随之变化异常。通过重新塑造良好的双涧沙形态,调整控制越滩流,利用水流分流比的重新分配,逐步形成新的航道格局,并因势利导、因地制宜。

宜建设深水航道是该水道航道治理的关键和方向（图6）。

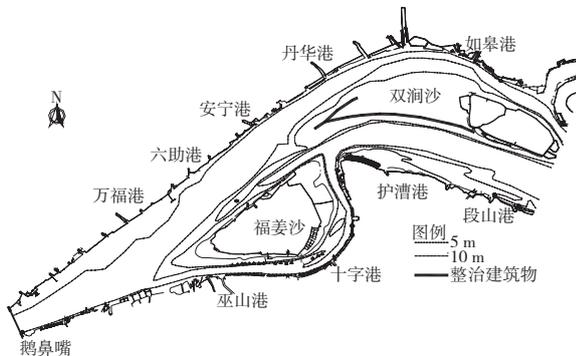


图6 福姜沙水道河势图及洲滩控制关键部位

2.2.4 口岸直水道

口岸直水道上段与下段都存在浅区。上浅区位于典型的弯曲分汊河段，同时又是落成洲江心洲分汊口与淮河入江口的交汇处，近年来因支汊分流比增大，主流方向调整，航道浅情更为突出。下浅区位于两个反向弯道间的长顺直段，江心有鳊鱼沙长直潜洲将主流分成东西两槽，多数年份只能保持单槽通航，且主航道反复易位。目前两槽通航水深都处于历史最好时期，但仍然不能满足12.5 m深水航道要求。首先稳定落成洲头部低滩和鳊鱼沙沙头相对有利的形态，促使水流归槽，逐步采用工程措施改造浅区局部河床形态是该水道航道治理的关键（图7）。

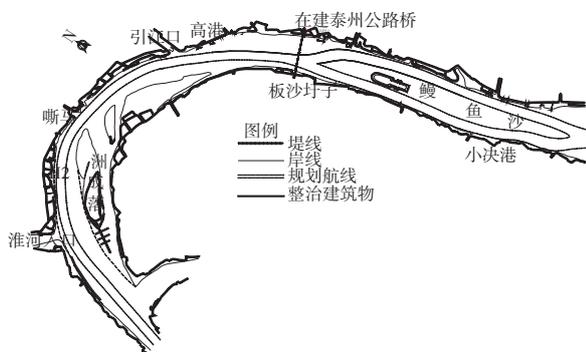


图7 口岸直水道河势图及洲滩控制关键部位

2.2.5 和畅洲水道

和畅洲水道位于镇江港区，和畅洲将河道分为南北两汊，南汊曾经为主汊。由于河势剧烈变化，南汊分流比由70%以上下降到不足25%，主支

汊已经发生转换。南汊航道条件不能满足12.5 m深水航道要求，但由于城市与港区发展要求，主航道一直维持在南汊。北汊水深虽然在15 m以上，但下口弯曲近90°，不满足大型船舶下行安全条件，同时由于北汊是镇江长江豚类省级自然保护区，也不宜于开发为航道。水利部门为了抑制北汊发展，逐步改善两汊分流条件，曾在北汊口门修建一座潜坝，南汊分流比提高1%左右。基于北汊为自然保护区的特殊情况，继续在北汊修建潜坝群以提高南汊分流比，依托南汊建设12.5 m深水航道将是和畅洲水道航道治理工作的方向（图8）。

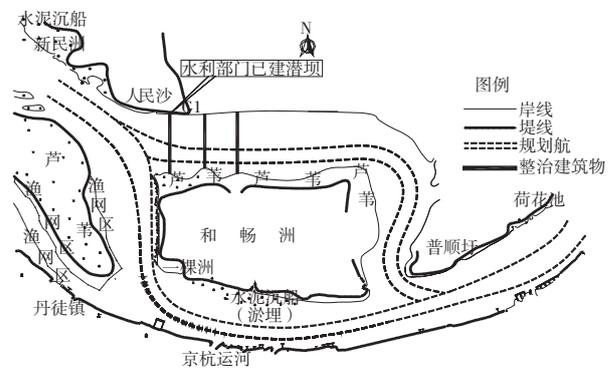


图8 和畅洲水道河势图及洲滩控制关键部位示意

2.2.6 仪征水道

仪征水道为分汊河型，世业洲将河道分为南北两汊，主航道位于南汊。近年来北汊缓慢发展、南汊略有萎缩，北汊分流比已经由23%提高到36%左右，南汊航道水深已经出现航深不足12.5 m的状况。为避免仪征水道出现类似和畅洲主支汊易位的局面，尽早控制北汊发展已经成为仪征水道航道治理工作的关键。首先在北汊口门实施工程，控制洲头后退与限制北汊河槽冲深，可以有效抑制北汊的发展（图9）。

通过模型试验，各浅区关键部位控制工程均能达到预期效果，工程顺应了水沙运动规律，降低了航道整治工程对环境的影响，为南京以下12.5 m深水航道尽快实现初通目标提供了技术可行方案。

2.3 工程对环境的影响分析^[4]

南京以下12.5 m深水航道建设范围内有5个重要湿地（丹徒、扬中、张家港市、常熟市，太

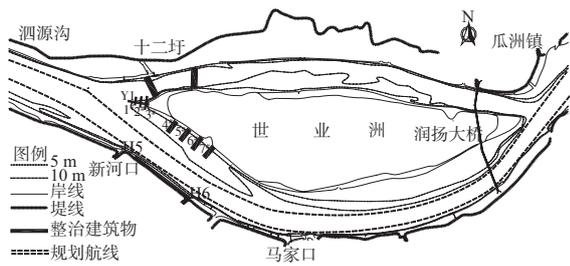


图9 仪征水道河势图及洲滩控制关键部位

仓市)，3处保护区（镇江长江豚类省级自然保护区、长江扬州段四大家鱼国家级水产种质资源保护区、长江靖江段中华绒螯蟹鳊鱼国家级水产种质资源保护区）。同时，长江下游是很多重要经济鱼类的生存场所，也是鱼类洄游的必经通道，咸淡水交界处是一些甲壳动物的产卵地。在这一河段开展航道治理工作，生态环境保护要求高。

在南京以下进行航道治理工作，主要是通过修建护滩、护岸、丁坝、潜坝等整治建筑物，抑制洲滩的不利变化，适当调整分流比，适当调整水流流场，通过水动力条件的改变来增加航道水深。工程实施后复杂的河道形态和水流流场将逐步趋于简单顺畅，同时能保留天然河道的水文自然特性，对水流流量、频率、持续时间、出现时机和水文条件的变率没有改变，对河道的开放性、连续性、蜿蜒性没有重大影响，能保持长江原有的自然生态，并对局部河势稳定有利。

工程实施后，虽然局部河道的生境有所改变，但大多是临时性的。底栖动物、周丛生物的栖息、产沉性卵鱼类的繁殖以及湿地植被都可以通过生态修复、增殖放流等生态补偿措施，维护河流的生态资源。丁坝、潜坝等坝体上、下游的局部水流变动区域还可以成为一些新的繁殖场所。具相关调研，2002年3月、2004年3月在长江口新建的北导堤投放底栖动物，开展底栖生物修复试验。15个月后种类达到21种，比本底值增加了9.5倍；总生物量和总栖息密度比本底值分别增加了40.31倍和7.50倍；群落结构从以甲壳动物为主演变为以软体动物为主。已有的工程实例说明航道工程通过生物修复可在总体上恢复自然生态格局。

和畅洲航道整治工程对镇江长江豚类省级自然保护区的影响相对较为敏感。由于将在北汉保护区的核心区（图10）继续建设潜坝，会临时性地影响保护区的生态，但不会对整个保护区的结构造成破坏。这种整治方式有利于维持和畅洲两汉合理的分流比，有利于维持保护区内洲滩结构与格局，使得适宜江豚栖息的浅滩回水水域生境不会出现大的变化和动荡。不会缩小豚类保护区的现有生境空间。由于工程涉及对保护区的临时影响，在施工期间需采取相应的防范措施，加强监测，避免船舶对豚类的噪声影响和物理伤害。

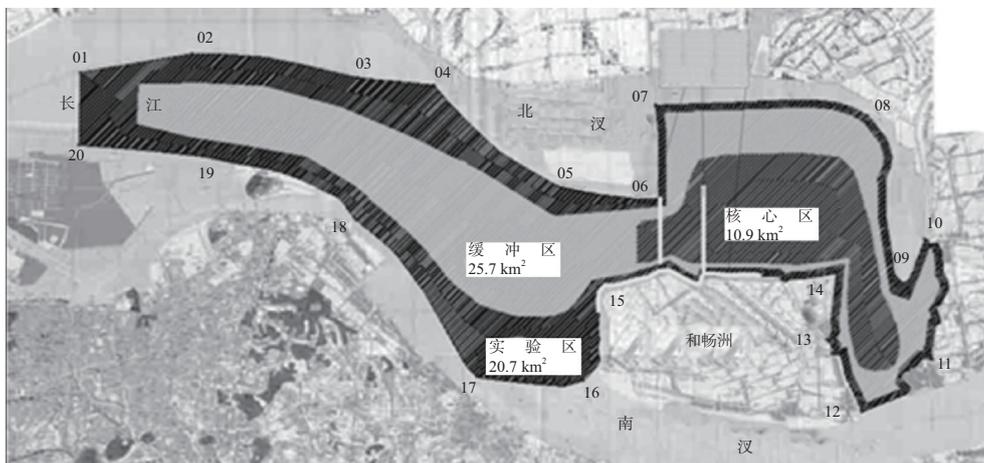


图10 镇江长江豚类自然保护区与工程关系

3 总体建设思路

3.1 建设思路

通过10多年的研究工作,为适应地方经济发展需求,尽快将12.5 m深水航道上延到南京,制定了“整体规划、分步实施,自下而上、先通后畅”的建设思路。

“整体规划、分步实施”的思路是基于多年研究,对工程河段的河道演变机理与水沙动力条件有了清晰的认识,特别是对上下游、左右岸、关联性强的工程进行了专题研究,相关涉水部门达成共识,形成了航道走向的总体规划和浅区河段的总体治理方案。同时通过模型试验,将总体工程进行分解,先期实施关键部位的控制工程,不仅能及时体现工程效果,满足阶段目标的要求,还能为总体方案的优化积累经验,尽可能地减小工程对环境的影响。

“自下而上、先通后畅”的思路是基于建设河段长达280 km,总体工程浩大,建设时间长,为充分发挥河道自然条件的优势和长江口12.5 m深水航道建设工程的效益,尽快将深水航道向上延伸,整治工程的实施顺序应自下游向上游推进。同时工程重点目标是首先确保5万吨级海轮安全通达南京,航道水深达到12.5 m,航道宽度不小于现状航宽。然后在已有工程基础上,实施必要的后续巩固完善工程,全面建成南京以下12.5 m深水航道。

3.2 治理原则

由于航道治理的对象是永恒变化的河道,水流泥沙的运动规律还不能完全用数学表达式准确地表述出来。因此,在平原河流航道治理工作中,对河势的把握和判断是最基本的原则,河道演变一旦形成了“势”,很难用工程手段强行扭转,逆势而行是航道治理工作的大忌。

沙质河床在自然变化过程中,会出现航道条件相对有利的河道格局,在系统治理研究的基础上,不失时机地对其进行保护,不但可以降低工程造价而且可以使工程与自然更加和谐。否则错失良机将增大工程难度与投资规模。同时,由于河道受到地质条件的限制出现千差万别的形态,

在众多的工程部位中抓住起关键作用的牛鼻子工程,借用水流的持续作用塑造航道,可以使航道治理工程取得事半功倍的效果,等等,这些都是航道治理工程有别于其他土木工程特殊性。

因此,遵循“把握有利时机、控制关键部位;因势利导、循序渐进;因地制宜、统筹兼顾”的治理原则,立足于依托和顺应大自然的力量,抓住航道格局相对较好的时机作工程,抓住治理对象的主要矛盾进行工程布局,就可以用较少的航道整治工程取得整治效益最大化和环境代价最小的综合效果。

3.3 实施步骤

南京以下深水航道建设从工程效益角度,可以归纳为2步:

第一步:控制河道的关键部位,使之保持相对稳定;适当调整局部区域的水动力条件,逐步提高航道水深;结合疏浚措施,保证航道深度12.5 m,航道宽度不低于现状条件,尽快将12.5 m深水航道初步通达南京。

第二步:加强观测与研究,适时实施总体治理方案中必要的后续工程,按照规划标准,全面建成南京以下12.5 m深水航道。

2011年4月15日,交通运输部和江苏省人民政府在南京联合成立长江南京以下深水航道建设工程领导小组并组建工程建设指挥部,提出了在“十二五”期长江南京以下12.5 m深水航道初步贯通的建设目标。下阶段研究工作将重点围绕“十二五”期建设方案的深化与优化来开展,同时将密切关注已建整治工程效果,进行总体治理方案实施力度与实施时机的研究。

参考文献:

- [1] 恽才兴. 长江河口近期演变基本规律[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [2] 江苏省水利厅. 长江澄通河段河道综合整治规划报告[R]. 南京: 江苏省水利厅, 2010.
- [3] 长江航道规划设计研究院. 长江口12.5米深水航道延伸至南京整治工程研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设

计研究院, 2010.

中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2011.

[4] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 长江干线航道建设规划(2011—2015年)环境影响报告书[R]. 武汉:

(本文编辑 郭雪珍)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

长江南京以下12.5 m深水航道工程是国家“十二五”期间的重点工程。作者长期从事长江航道的建设管理工作, 基于对长江航道建设工程实践经验的长期积累, 本文系统分析了长江南京以下河道的特点, 阐述了对6处重点滩险演变趋势的认识, 解析了工程建设思路和治理原则。

文章结构严谨, 观点鲜明, 读者不仅可以了解长江南京以下河段和航道的概况, 而且可以了解本工程的重点和难点, 在大型航道治理工程的研究方法和治理思路方面获得启示。



2012年12月

评委简介:

吴澎, 教高, 中国工程勘察设计大师, 中交水运规划设计院有限公司副院长、总工程师兼《水运工程》主编。

参加国际航运协会(PIANC)中国第1位专家工作组成员, 先后参加了WG 29、WG140、WG155等工作。主持了《船闸水工建筑物设计规范》、《航道整治工程技术规范》、《渠化工程枢纽总体布置设计规范》、《水运工程设计通则》、《水运工程抗震设计规范》等多本规范的制修订工作。先后在国内外发表高水平专著和论文30余篇部, 主编了《现代集装箱港区规划设计与研究》一书, 编写了《深水航道设计》专著。