

· “长江南京以下12.5 m深水航道建设”专栏 (11) ·



## 福姜沙水道深水航道选汉分析

陈晓云

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 福姜沙水道为弯曲分汉河型, 是长江南京至太仓河段唯一三槽通航的水道。由于特殊的河道形态与复杂的水沙运动, 在12.5 m深水航道建设中对主通航汉道的选择难度较大。该水道河床开阔, 上游来沙在此大量落淤, 加之潮汐影响, 河床冲淤呈现周期变化。基于对水沙运动规律的认识, 对福南、福北、福中三槽综合条件进行分析, 认为: 福南水道过于弯窄, 凸岸淤积问题造成航道治理与维护的难度大, 特别是“S”型反向急弯, 不利于大型船舶安全通行; 福北水道与福中水道具备建设单向航道的基本条件。本文提出“利用北汉两槽(福北水道、福中水道)建设分道航行的12.5 m深水航道、南汉(福南水道)保持现有条件作为深水良港”的选汉方案。

**关键词:** 长江; 福姜沙水道; 河床演变规律; 深水航道; 选汉

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)03-0001-07

### Branch selection of Fujiangsha deep-water channel

CHEN Xiao-yun

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** As a bending and branching river, Fujiangsha waterway is the only watercourse where three channels can navigate in Nanjing-Taicang reach of the Yangtze River. Due to the special river configuration and complex water-sediment movement, it is quite difficult to select a primary navigable branch in building the 12.5 m deep-water channel. The waterway has a broad riverbed on which sediment from the upper reach is mostly deposited. In addition, affected by the tide, erosion and sedimentation of the riverbed tend to change periodically. Based on a long-term understanding of regular patterns for water-sediment movement in this waterway, it is concluded from an analysis on integrated river regime conditions of the southern, northern and middle channels that: 1) since the southern channel is too bend and narrow, sedimentation at the convex bank makes it difficult to be controlled and maintained, especially a “S”-shaped reverse sharp bend is adverse to the safe passage of large ships; 2) both northern and middle channels have foundation conditions of building a one-lane navigation channel. A branch selection proposal is presented, namely “the two channels in north branch is constructed into a 12.5 m deep-water channel where a ship can sail in a traffic lane manner, and the southern branch keeps its existing condition as a good deep-water channel”.

**Key words:** the Yangtze River; Fujiangsha waterway; regular pattern of riverbed evolution; deep-water channel; branch selection

福姜沙水道位于长江江阴—南通之间, 长40余km, 上游进口受江阴鹅鼻嘴天然节点控制, 下游出口受九龙港人工节点控制, 河床最宽处约8 km, 是长江南京至太仓河段唯一三槽通航的水道

(图1)。目前, 南水道航道尺度为10.5 m × 200 m × 1 050 m (航深 × 航宽 × 弯曲半径, 下同)、北水道为8 m × 200 m × 1 050 m、中水道为4.5 m × 200 m × 1 050 m。由于南北两岸已经形成张家港、靖江港、

收稿日期: 2013-03-21

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。

如皋港等大型港口集群，迫切要求建设沿岸12.5 m深水航道，但特殊的河道形态与港口需求存在一定的矛盾。为解决主航道选线难题，首先要对该水道河床演变与水沙运动的基本规律有清晰的认识，在尊重自然规律的基础上，对建设沿岸深水航道的可能性作出合理判断。

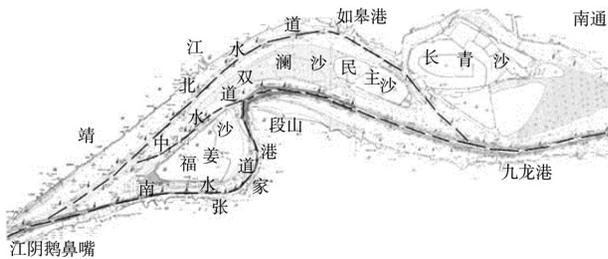


图1 福姜沙水道航道示意图

### 1 河床演变沿革

#### 1.1 历史演变

长江河口曾为喇叭状海湾形态<sup>[1]</sup>，经过距今2 000 ~ 3 000 a的变迁，南岸边滩向海推进，北岸沙岛并岸成陆，河口束窄外伸，由河口湾转变为分汊型河口，洪季潮流界由镇江附近下移到江阴附近(图2)。

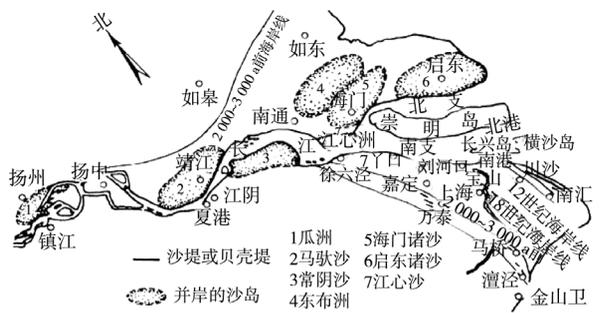


图2 长江河口变迁过程

长江水流出江阴后，受南岸黄山、肖山、长山、段山等系列山矶约束，特别是江阴鹅鼻嘴节点阻止主流向南摆动而偏北岸下行，与下游任港、狼山一侧深槽衔接，在福姜沙水道形成北向弯道，弯道顶点在段山对岸(图3)。

福姜沙为江中暗沙，在19世纪末出水成滩，20世纪初开始围垦成陆，形成分汊水流。在弯道水流作用下，南岸岸线不断凹陷，水道 upper段形成南北两汊格局(图4)。水道下段北岸地质抗冲性极弱，

河床北冲南淤，弯道顶点向北凹陷，逐步形成江面开阔、江心沙洲发育的弯曲分汊河型。遇不同水文年，水流动力轴线上提下挫，主流在沙洲间频繁摆动，洲滩分裂零乱，沟槽纵横，深泓位置极不稳定。但无论福姜沙水道水流发生何种分流、弯曲形态，弯道顶点基本位于段山对岸，再下行归于东侧任港、狼山深槽，大趋势基本不变(图5)。

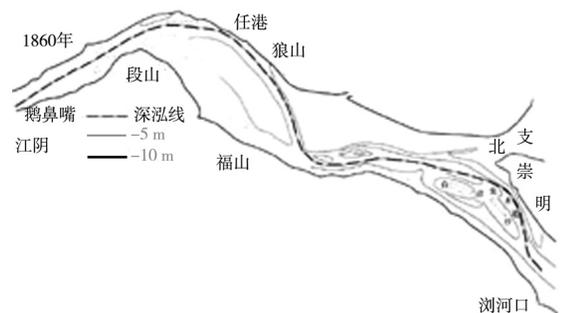


图3 1860年长江江阴—浏河口河势

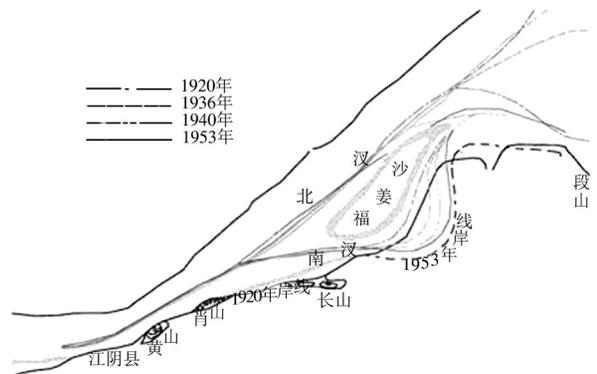


图4 两汊形成过程

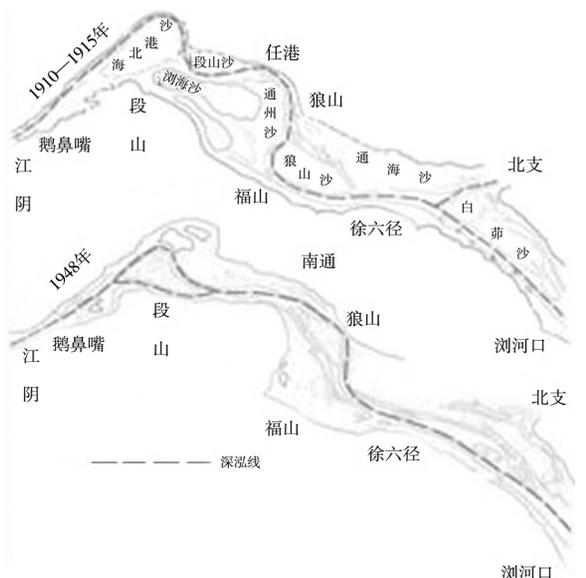


图5 江阴—徐六泾河段历史变化

### 1.2 近期演变

20世纪70年代初，北向弯道处如皋中汉生成，最初仅为窄沟，分流比1%。通过人工控制江心长青沙、洪北沙等几大沙洲以及南北两岸岸线守护与港口建设，如皋中汉良好的形态得到巩固完善。其后，经过20余年的发展，特别是1998、1999年大洪水的塑造，如皋中汉分流比稳定在30%左右。福姜沙水道两汉三槽的基本格局至此形成（图6），南汉—浏海沙称福南水道、北汉—浏海沙称福中水道、北汉—如皋中汉—浏海沙称福北水道。北向弯顶位于焦港—如皋港一带，主流归于南岸九龙港人工节点段，分流比达到99%，历史上弯顶北侧的深槽萎缩为分流比仅1%的如皋北汉。

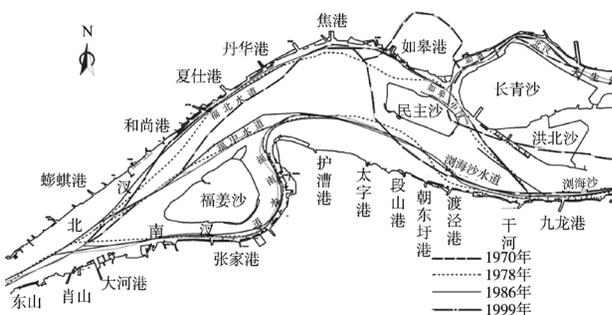


图6 三槽形成过程

北向弯顶仍然居于段山对岸，弯顶以下沙洲相对稳定，但弯顶以上宽达8 km的河床上沙体活动频繁。上游来沙出江经节点后，在开阔的福姜沙水道上段河床大量落淤，淤积部位主要有北岸靖江蟛蜞港边滩与福北水道弯道凸岸、福姜沙头部与福南水道弯道凸岸、民主沙头部双涧沙心滩与南岸护槽港边滩。遇不利水文年，曾交替出现过福南水道航深不足10 m、福中水道不足4 m、福北水道不足7 m的困难局面。特别是双涧沙心滩演变剧烈，窄沟发育，心滩头或淤积上延与福姜沙头部边滩连接，或被水流冲刷切割后退到福姜沙洲尾（图7），成为近期福姜沙北汉航道条件不稳定的最不利因素。

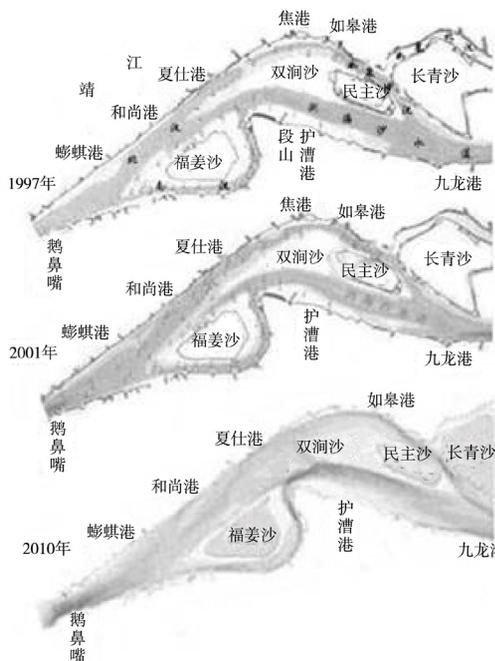


图7 福姜沙水道河床变化

## 2 水沙运动规律认识

### 2.1 水流运动

#### 2.1.1 潮汐特征

福姜沙水道位于洪季潮流界，大通流量 $6\text{万m}^3/\text{s}$ 左右时，涨潮流在九龙港以下。其他季节存在涨落潮流，落潮历时约8 h、涨潮历时约4 h，福中水道先涨先落，汉道间涨落潮流存在约1 h的相位差，并有由北向南约0.3 m的潮位差。涨潮平均流速 $0.3\sim 0.5\text{ m/s}$ ，落潮/涨潮流速比值约1.5~4，河床主要由落潮流塑造。由于涨落潮流的往复作用，该河段泥沙输移速度相对缓慢，河床演变周期较长。

#### 2.1.2 主流运动特性

福姜沙水道上段主流呈西南—东北向，下段为长江主流流向大海的最后一个北向弯道，主流在重力作用下，由西北向东南方向运动是这一河段河流运动的大趋势（图8），任何局部水流运动都受到这种大趋势的影响。因此，水流自西北向东南切割江中活动沙洲形成窄沟乃至发展成为汉道是福姜沙水道北向弯道段水流运动的常态。如皋中汉由此形成；福中水道流路遵循上述规律；双涧沙心滩因此经常被水流切割，不能保持自然稳定。

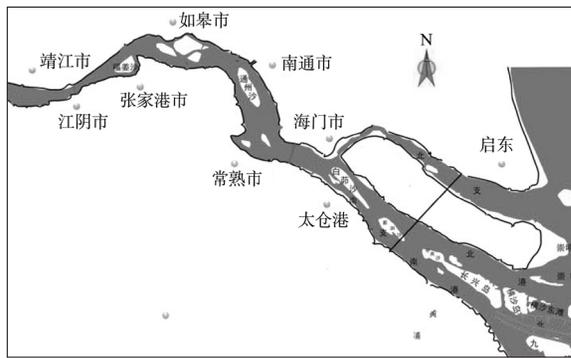


图8 长江河口形势

### 2.1.3 三槽分流特征

福姜沙水道进口河宽1.4 km，江阴鹅鼻嘴基岩节点限制了水流的南向运动，加之鹅鼻嘴以上为向南微弯的单一河道，节点河段的导流作用明显。一般水文年主流偏南岸而下，出节点河段后，在强大的惯性力作用下顺直向东北方向运动；遇大洪水，由于节点上游主流居中取直，出节点后主流偏北角度较一般水文年略大（图9），其惯性力影响可达北向弯顶附近。由于涨落潮流的相位差和北高南低的潮位差，部分北向主流在双涧沙沙脊上形成扇形横向漫滩水流（图10），汇入浏海沙下深槽，主流流路不集中，不易形成稳定的福中水道深槽，往往有一道沙埂将上下深槽隔断。而贴南岸鹅鼻嘴运行的部分水流顺势进入南侧深槽，使福南水道具有稳定的分流比。

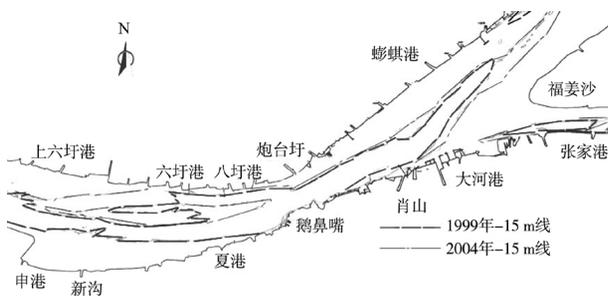


图9 南北汉深槽走向

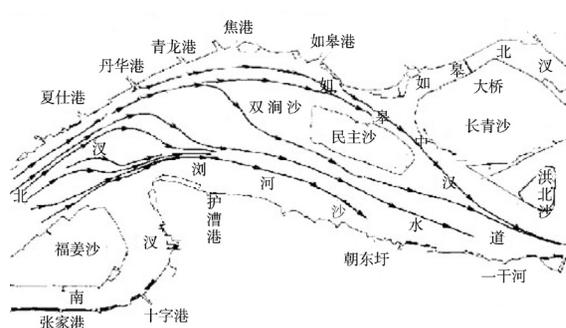
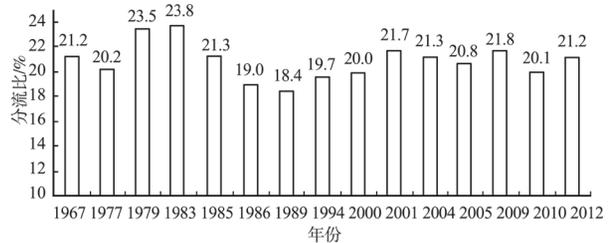
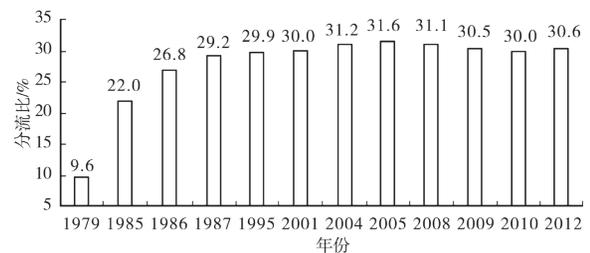


图10 双涧沙漫滩横流形态

福南水道长期维持20%左右分流比（图11a），如皋中汉出流稳定在30%左右（图11b）；50%的水流通过福中水道及其双涧沙滩面，在长达5~8 km的河段以扇形水流形态汇入浏海沙深槽。



a) 福南水道分流比



b) 如皋中汉分流比

图11 福姜沙水道历年分流比变化

## 2.2 泥沙运动

### 2.2.1 泥沙特征

大多年份福姜沙水道北汉分沙比在80%以上，大于分流比；南汉分沙比基本在20%以下，小于分流比（图12）。有关资料分析<sup>[2]</sup>，主河槽悬沙中床沙质与冲泄质的分界粒径约0.04 mm，造床以底沙运动为主，悬沙中10%~15%的床沙质参与造床。床沙中值粒径0.18 mm左右，泥沙粒径总体表现为主汉大于支汉、深槽大于洲滩、冲刷状态大于淤积状态。

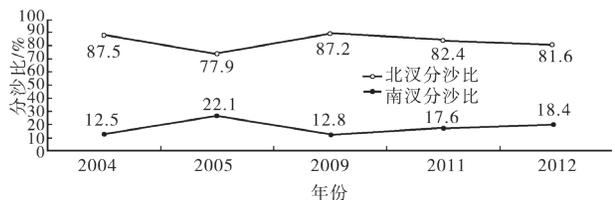


图12 福姜沙水道两汉分沙比变化

### 2.2.2 泥沙输移特征

由于江面展宽，流速降低，福姜沙水道水流挟沙能力总体小于上游江阴节点河段。上游来沙出江阴狭窄河段后大量落淤在开阔的福姜沙水

道，靖江蟛蜞港边滩与福姜沙头部是上游来沙落淤的首要部位（图13）。

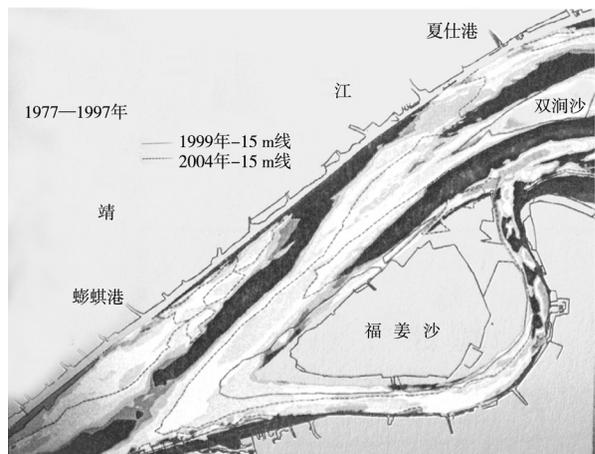


图13 1998年大洪水前福姜沙水道河床冲淤情况

北侧泥沙随着蟛蜞港边滩滩体形态和水流流速的变化，或呈均匀过境形态，或边滩遭受切割以成型淤积体形态被水流推移到下游河段的缓流地带沉积，泥沙运动方向与水流方向一致，呈西南—东北方向的条带状，其输移路径为蟛蜞港边滩、福北水道进口、双涧沙头部、弯道凸岸，呈现泥沙常年在福北水道进口输移过境的规律。

南侧泥沙部分进入南汉，部分淤积于福姜沙头部与左侧边滩。随着双涧沙心滩形态和水流流速的变化，边滩泥沙或同岸输移到下游护槽港边滩，或随主流北偏与北侧输沙带会合，经福北水道进口向下游输移。

### 2.2.3 河床冲淤特征

小水年主流出江阴节点略偏南，靖江蟛蜞港边滩一侧流速相对较缓，泥沙易于沉积，边滩淤涨，其发展到一定程度则遭受水流切割，大水年被切割的程度高于一般水文年。与此相反，福姜沙头部边滩在大水年易于淤积。双涧沙心滩承接南北两侧泥沙而发育，同时接受主流与漫滩水流的共同冲刷，滩头易后退，滩体易分裂。边滩与心滩之间有着此消彼涨的密切联系，当靖江蟛蜞港边滩被水流冲刷，大量底沙输移横跨福北水道进口时，双涧沙心滩的不同形态直接影响过境泥沙的输移方式和输移速度，决定福北水道进口深槽条件。1998，1999年大洪水对蟛蜞港边滩强烈冲刷，输移泥沙使双涧沙心滩得到充分发育，并

与福姜沙头部边滩相连，占据大量河槽空间，挤压过境泥沙成分散条带向下游输移，深槽淤积强度不大，福北水道进口10~15 m深槽贯通，时间持续了将近8年。

大洪水后出现连续小水年，蟛蜞港边滩持续发育，双涧沙心滩以冲刷为主，滩体逐渐缩小。2009年双涧沙沙头后退近8 km，出现两大窜沟，主流切割蟛蜞港边滩庞大沙体，以心滩的形态向下游输移，且滞留主河槽，运移速度缓慢，导致福北水道进口深槽被分隔为双深槽，水深大幅减小，呈现过程性萎缩状态（图14）。只有当泥沙输移并靠双涧沙，再次恢复双涧沙的完整形态，福北水道进口深槽才能进入新一轮发展阶段。但这一自然恢复过程相对缓慢，双涧沙形态周期性的冲淤变化极不利于航道正常运行。

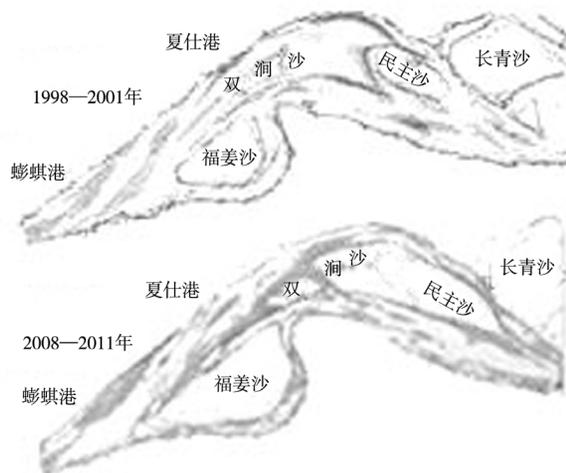


图14 1998年大洪水后福姜沙水道河床冲淤情况

近年来上游水沙条件发生新的变化，水流含沙量持续下降，河床沿程粗化，底沙沙源相对丰富，给以底沙运动为主的河段航道条件带来不利影响。认识河床演变规律与新的水沙运动特点，抓紧当前较为有利的时机，采用航道整治工程措施控制河道的关键部位，促进水沙良性运动，能够达到改善航道条件的目的。

## 3 三槽综合条件分析

### 3.1 福南水道

20世纪70年代福南水道沿凹岸开始进行港口建设，至21世纪初南岸岸线在港口建设的过程中

得到稳定。河道呈典型的鹅头型弯道，弯曲率约1.4，弯道水流特征明显，凸岸边滩为泥沙主要淤积部位，加之凹岸码头密布，可供5万吨级船舶通行水域宽度约100 m<sup>[3]</sup>。地形观测资料还揭示，近年来福南水道呈泥沙淤积加重趋势。

由于福南水道自身过于弯窄，特别是“S”型反向急弯，大型船舶航行安全风险大。现状条件下对2万吨级船舶通行实行安全管制，维持船舶单向通行，多次发生船舶碰撞事故，甚至发生船舶撞毁码头事件。从理论分析，福南水道可采取疏浚为主的方式开辟5万吨级船舶上行航线，但此通行方案与长江船舶靠右航行的总体通行规则相悖，且凸岸边滩疏浚区回淤严重等，导致福南水道在实际运行中难以建设安全、经济的12.5 m单向深水航道。

### 3.2 福北水道

福北水道是依托河道主流运动而发展的，150 a来的演变历史证明其生命力是强大的。但福北水道上段为宽3 km、长15 km的顺直河段，既是主流通道，也是泥沙通道。底沙在水流推动下，从北向南斜向推移，横越上深槽到达弯道凸岸。当江心双涧沙沙头上延到和尚港附近时，沙体占据大量的河床容积，将主流压缩在2 km以内的北侧河床上，提前形成弯道环流，有利于泥沙输移并在凸岸沉淤，福北水道上口深槽得到贯通。当双涧沙沙头退到夏仕港以下，顺直段河槽较长且呈宽浅型，泥沙输移得不到充分的水流动力与环流作用，福北水道上口深槽淤积严重，如果不采取工程措施，任其自然演变，将呈现周期性冲淤变化，难以维持航道常年畅通。即使采取疏浚措施，维持船舶双向通航的经济代价也是很大的。如皋中汊下口通过自然与人工的合力，已经具有30%的稳定分流比，水深基本达到12.5 m，但由于人工约束过窄，河宽不足500 m，不具备5万吨级船舶双向通航条件。

### 3.3 福中水道

福中水道为上下深槽交错浅滩。由于浏海沙下深槽呈西北—东南方向，顺应水流总体运动趋势，下深槽得到充分发育。上下深槽之间存在一

道沙埂，河床为“W”型复式断面，有的年份上下深槽自然贯通，但稳定性很差，窄沟周期性生成，深槽位置多变。1998，1999年大洪水切割蟒蜞港边滩，将大量泥沙推移到双涧沙一带，双涧沙充分发育。2001—2008年期间，在造就福北水道良好条件的同时使福中水道进入历史上淤积最为严重的时期，最小水深不足4 m。当2009年双涧沙沙头后退，两大窄沟形成，福中水道深槽虽有发展，但仍然不能自然达到12.5 m深水航道条件，同期福北水道进口深槽衰退到8 m以下。因此，维持双涧沙的完整且沙头稳定在合理的位置，限制窄沟发展并适当调整漫滩横流，可以使福中水道得到发展。2010年底依托河床现实条件实施了双涧沙关键部位控制工程（图15），遏制了双涧沙的分裂局面，福中水道12.5 m水深基本贯通，为进一步改善福中水道航道条件奠定了坚实的基础。但该工程对双涧沙头部守护位置仅在夏仕港附近，不具备制约蟒蜞港边滩下泄泥沙均衡过境的功能，还需在此基础上，将双涧沙头部守护位置适当上延，并配合其他局部工程措施，以达到同时改善福北水道上口航道条件的目的。

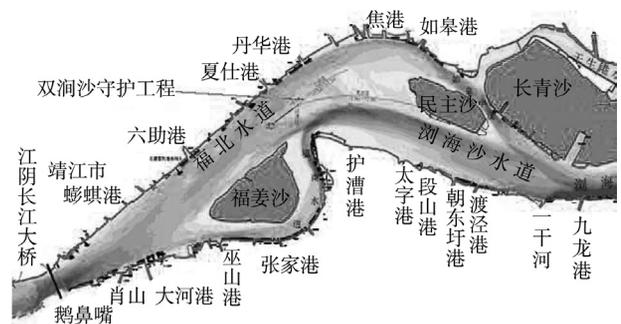


图15 双涧沙关键部位控制工程

## 4 深水航道选汉

大江大河航道治理的基本理念是认识自然规律，顺应河势发展，通过人工干预，改善航道条件。福姜沙水道三槽都有自身长期存在的优势条件，但也存在自然条件下不满足12.5 m深水航道的缺陷。有些缺陷可以通过航道整治工程措施进行适当完善，但有些缺陷则是航道整治工程不能弥补的。

