

# 依托横沙浅滩开发大型深水港区的技术可能性

程泽坤, 邵荣顺

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**[摘要]** 从上海港可持续发展和长江三角洲、长江流域社会经济发展角度出发, 提出并论证了依托横沙浅滩开发建设大型深水港区的技术可能性, 通过潮流数值模拟分析了港区规划的初步形态, 利用多种泥沙估算方法对港池和航道回淤强度进行了估算, 研究认为, 依托横沙浅滩开发建设大型深水港区技术上是可能、可行的。

**[关键词]** 横沙浅滩; 选址; 港区规划; 深水航道; 港池; 泥沙淤积

**[中图分类号]** U651.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)06-0041-07

## 1 前言

上海港集装箱吞吐量和货物总吞吐量已连续多年位居世界第一, 其在当今世界航运业中的地位和区域社会经济发展中的作用举足轻重。随着世界航运业和长江三角洲、长江流域社会经济发展, 上海港发展面临着吞吐能力已饱和、深水岸线用尽、深水航道疏浚维护量大、土地资源短缺、与城市发展争资源等挑战, 港口可持续发展的空间处于难以再提升的境地。同时, 上海港目前还存在没有 20 m 以上深水航道和深水泊位, 江海联运系统优势未能充分发挥等劣势, 因此难以适应未来航运和物流市场的激烈竞争。如不及早落实相应的对策措施, 2020 年将难以实现上海国际航运中心建设总体目标。研究认为, 可行的对策措施就是规划开发建设具有大容量深水泊位和深水航道的新港区, 以进一步提升航运竞争力, 更好地服务经济发展。

经调研, 长江口横沙浅滩可以作为新港址进行开发建设, 其位于我国“黄金海岸”和“黄金水道”交汇处, 距离国际习惯航线近, 距离外海-20 m 等深线不足 17 km, 江海联运条件十分优越; 滩涂和深水资源丰富, 港口开发潜力巨大, 可以成为国内、国际市场的接轨点。本文将重点介绍依托横沙浅滩开发

建设大型深水港区的技术可能性和可行性。

## 2 依托横沙浅滩开发大型港区的技术可能性<sup>1,2)</sup>

### 2.1 横沙浅滩港址的区位优势

横沙浅滩港址位于我国“黄金海岸”和“黄金水道”交汇处(见图 1), 距离国际习惯航线近, 距离外海-20 m 深水区不足 17 km, 出海进江、江海转运极为方便, 是国内、国际市场的极佳接轨点。其既可为 10 万~40 万吨级散货船和 6 000~18 000 TEU 集装箱船提供大型深水泊位服务, 又可为各类长江散货船、驳船和内河集装箱支线船提供服务, 能够更方便快捷地实现江海联运的零距离对接, 满足国家发展战略需求。因此, 横沙浅滩港址区位优势十分明显。

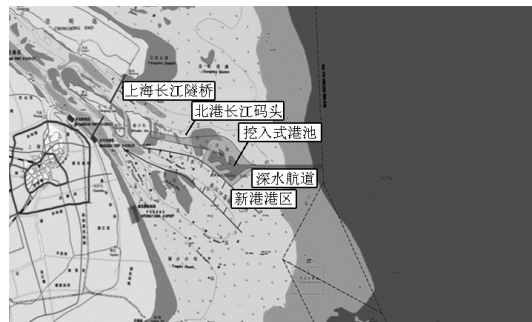


图1 新港址位置图

Fig.1 Location of the new Shanghai port site

**[收稿日期]** 2013-03-29

**[作者简介]** 程泽坤(1966—),男,安徽六安市人,教授级高级工程师,主要从事港口与航道工程设计、咨询、科研工作;E-mail:czk3226@theidi.com

## 2.2 横沙浅滩自然条件分析

### 2.2.1 横沙浅滩及附近海域稳定性

长江口分布有多个浅滩,其形势见图2。近年来,横沙浅滩水沙运动趋于稳定,年冲淤变化在 $\pm 20$  cm以内,冲淤相对平衡,不存在大冲大淤现象,横沙浅滩-5 m等深线内面积多年保持在约 $300 \text{ km}^2$ 。

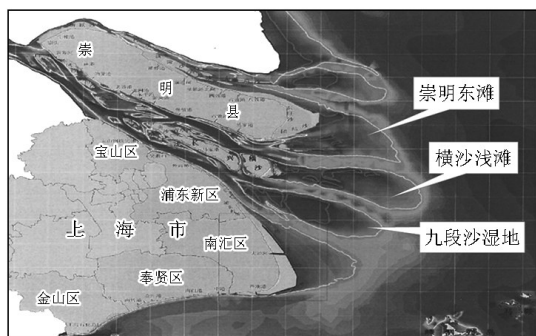


图2 长江口浅滩形势图

Fig.2 Shoals distribution map at the Yangtze River estuary

在横沙浅滩东部-10 m等深线内,随着水深的增加,冲淤变幅沿程变小,一般在 $\pm 10 \sim \pm 20 \text{ cm/a}$ ;而在-10~-20 m海域,稳定存在着一条近南北向“冲刷走廊”;在-20 m以外海床地形冲淤已基本上不受长江河口入海径流的影响,近50年海床冲淤稳定的状况持续保持。

横沙浅滩及附近海床的稳定性,为充分利用滩涂和近岸深水资源开发建设大型港区提供了十分有利的条件。

### 2.2.2 潮流

该海域潮汐属于不规则半日潮,近海径流作用较弱。长江口北港和北槽的水道中潮流基本呈较强的东西向往复流动,而在-10~-20 m海域,潮流具旋转特性。北港水道口约-5 m水深处,表层平均涨、落潮流速分别为 $94 \text{ cm/s}$ 和 $147 \text{ cm/s}$ ,口外-15 m处平均涨、落潮流速分别为 $64 \text{ cm/s}$ 和 $107 \text{ cm/s}$ ;北槽水道口内涨、落潮流速分别为 $118 \text{ cm/s}$ 和 $179 \text{ cm/s}$ ,口外平均涨、落潮流速同为 $98 \text{ cm/s}$ 。依托横沙浅滩布置港区,陆域可在-2 m的滩脊上形成,对长江口周边潮汐通道的动力格局影响较弱。

### 2.2.3 风浪

长江口地区受台风影响平均每年约2次,风向以偏北风为主,风力以大于9级最多,大风持续时间约为2~3天。台风期间常伴有大浪,每次台风对长

江口河床的影响均较大。寒潮平均每年2.6次,影响时间为1~2天。

长江口地区波浪以风浪为主,涌浪次之,平均周期为3.3 s。横沙浅滩海域波高最大不超过3 m。波浪传播进入浅滩区后,发生变形破碎,掀起泥沙,对浅滩区水流和泥沙运动产生影响。依托横沙浅滩规划港区,实施浅滩圈围后,可切断该海区滩槽间的泥沙交换,挖入式港池只要处理好口门位置,港池的泥沙淤积回淤不大。

### 2.2.4 泥沙

横沙浅滩所在海域水体含沙量主要来自长江流域下泄入海泥沙的扩散及波浪作用下浅滩区的滩槽泥沙交换。海区的泥沙分布基本特征为:在长江口北港、北槽口门附近以及横沙浅滩以东海域水深-5 m以浅的浅滩区,平均含沙量在 $0.5 \sim 1.0 \text{ kg/m}^3$ ,在浅滩东侧水深-5~-10 m区域含沙量明显降低,平均含沙量降至 $0.5 \text{ kg/m}^3$ 以下;-15 m以东的水域,悬浮沙浓度极低。海域的泥沙分布特征对进港深水航道的布置较为有利。

随着长江下泄沙量的持续减少以及横沙浅滩大片被圈围,滩槽泥沙交换强度将会得到抑制,长江口北港、北槽口门附近水域含沙量亦将保持在较低水平,这对横沙浅滩区港池和航道开挖后的减淤非常有利。

### 2.2.5 大雾

长江口水域常遭受浓雾“侵袭”,能见度不足500 m,局部地区小于100 m的情况时常发生。据统计,在长江口水域视程小于1 000 m的天数分别为:2005年25天,2006年20天,2007年12天,2008年19天。浓雾给船舶航行和引航带来一定的影响,大雾对横沙浅滩挖入式港池和外航道的影响类似于对相邻长江口北槽深水航道和外高桥港区的影响。

### 2.2.6 沉积物和工程地质

横沙浅滩表层沉积物以粗颗粒物为主,一般为细砂和粉砂质砂,泥含量不足20%。在规划的深水航道海底表层沉积物以细颗粒为主,泥含量在50%以上,为淤泥质海岸。淤泥质海岸深水航道开发建设技术较成熟,成功案例较多,如天津港、连云港进港航道等。

根据勘探资料,本区均为第四纪全新世近代冲海-滨海相的粘散堆积物,无岩基出露,属软土地基。长江口地区地震烈度为七级。规划深水航道和港池可挖性好,港区码头结构建设难度不大。

### 2.3 外配套条件

依托横沙浅滩开发港区,集疏运和水电通信等配套设施相对较易解决。港区水路集疏运条件较好,陆路集疏运条件稍差,但是陆路集疏运系统建设难度不大,先期可以建设通道接线至长江隧道,远期可再建另一条过江通道。与已建的洋山深水港区比较,外配套条件较易解决。

### 2.4 建设条件

本工程的建设可以依托横沙本岛,先实施陆域形成和疏浚工程,后进行码头结构、地基加固以及上部功能设施的建设,施工依托条件好,技术成熟。由于港区布置为挖入式港池,施工作业天数几乎不受外面水文气象因素的影响,施工难度不大。

### 2.5 环境条件

横沙浅滩港址距离崇明东滩鸟类自然保护区、九段沙湿地自然保护区均较远,且有北港和北槽水道分隔。初步分析认为,横沙浅滩的圈围及挖入式港池的建设对一些水产生物的栖息、索饵与洄游会有所妨碍,在其施工和运营期,对当地及周边生态与环境也会有一定影响,但估计应属于可控及能够补偿的行为。

综上所述,在横沙浅滩规划建设大型港区具有区位优势,自然条件、配套条件、建设条件和环境分析表明,港区开发在技术上不存在较大的技术难题。

## 3 港区初步规划设想

在港址可能性分析的基础上,结合资源条件初步布置了港区形态。所规划的挖入式港池地处北港和北槽入海水道之间的横沙浅滩,深水航道位于港池口门以东至长江口外-20 m等深线之间,该段大部分海域平均悬沙浓度为 $0.1\sim 0.5\text{ kg/m}^3$ 。由于长江口水域潮流泥沙运动较为复杂,因此本文重点分析港区初步规划形态对周边潮流场的影响以及港池和航道的回淤情况。

### 3.1 港区初步规划形态布置

目前长江口内自然和人工岸线水深较浅,航道回淤较强,难以大幅提升码头水深等级。在长江口横沙浅滩规划挖入式港池,港池主要为纳潮量进沙,若将口门布置在破波带之外含沙量低值区,可以有效规避长江口浑浊带影响,从而可以大大降低港池内的泥沙回淤强度。横沙浅滩挖入式港池方案,大型船舶通过深水航道进入港池,利用北港水道和人工运河可实现江海联运零距离对接,从而优

化目前江海联运运输体系。

设计初步考虑了两个形态方案:南线方案和北线方案,见图3。方案布置的主要原则是工程后对长江口深水航道无不良影响,港池口门横流和回淤控制在可以接受的范围内。

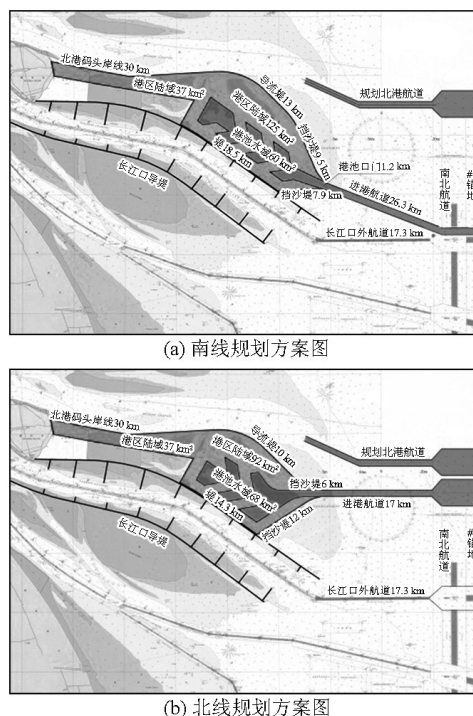


图3 南线方案和北线方案布置形态

Fig.3 Layout of the south channel plan and the north channel plan

#### 3.1.1 进港深水航道

解决港池和进港深水航道的泥沙回淤问题是港区成败的关键。初步选在长江口外海域-7~-20 m等深线处;北线方案选在北港水道的出海口,航道走向 $90^\circ\sim 270^\circ$ ,长度为17 km,有效底宽450 m,设计底标高-23.0 m。南线方案的航道位置靠近长江口深水航道的外航道W4~W5段,其走向 $107^\circ\sim 287^\circ$ ,长度约30 km,其他尺寸和北线方案一样。布置深水航道范围海床稳定,水体含沙量低,冲淤变化小;开挖后回淤物的主要来源是大风天边滩(0~-5 m)波浪破碎带的悬沙。由于该海域-5 m以外海域底质属于淤泥质海床,表层含泥量约50%,与类似海域航道建设条件比较,本港区深水航道开挖后回淤量不会太大,航道易于维护。

#### 3.1.2 挖入式港池

横沙浅滩滩面平坦、稳定,港区用地回填可以

部分利用长江口深水航道维护疏浚土,以及港池和人工运河疏浚土,基本可以满足土方的平衡。

挖入式港池的回淤很大程度上与港池口门的含沙量水平有关。港池口门设置在外海含沙量较低的海域,低浓度浑水进入港池后不会有过大的回淤。其主要泥沙来源是大浪破波带的边滩掀沙。港池口门设有南、北挡沙堤,以减少泥沙进入港池。

南线和北线两个方案占地面积为208~252 km<sup>2</sup>,港池水域面积60~68 km<sup>2</sup>,具有-20 m的深水岸线57~64 km,可布置深水和超大型深水泊位约150座。

挖入式港池方案可避免与外海恶劣自然条件直接接触,具有水域平稳,航行安全,回淤少,施工条件好,工程投资少,年作业天数多,对周围环境影响小等优点。

### 3.1.3 北港航道的长江货船泊位

横沙浅滩位于长江口北港水道中段,岸线呈微弯的凹岸,水深5~10 m的岸线约30 km,考虑长江货船的吃水不大,此段岸线可以规划为长江驳船和货船泊位,符合北港航道5万吨级的规划。同时规划人工运河连接港池和北港水域,实现江海零距离联运。

### 3.2 工程前后潮流场分析

横沙浅滩挖入式港池实施前后流场变化以及对周边流场可能的影响可以通过数值模拟手段进行分析。此次长江口大模型覆盖长江口、杭州湾、舟山群岛、东海内陆架及邻近海域<sup>[2]</sup>。

南线、北线方案实施前后流场主要态势如图4~图6所示。

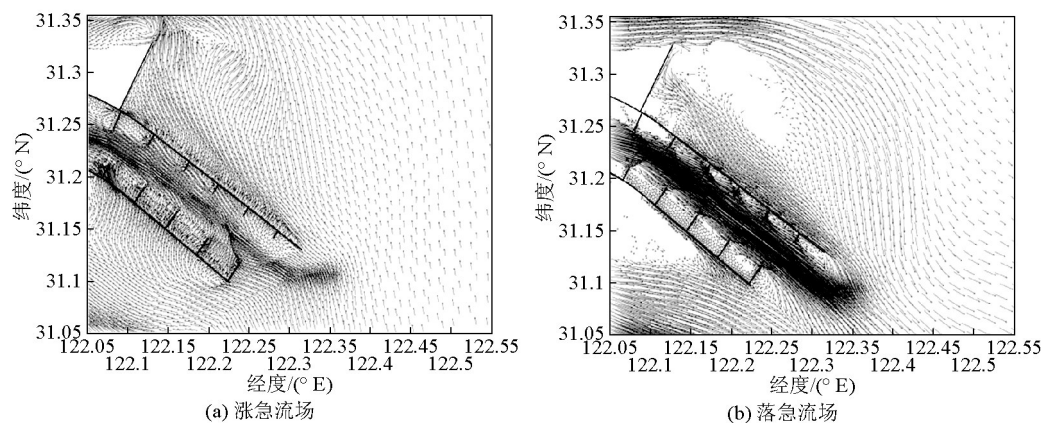


图4 工程前大潮涨、落急流场

Fig.4 Flow field of flood and ebb during spring tide before projects

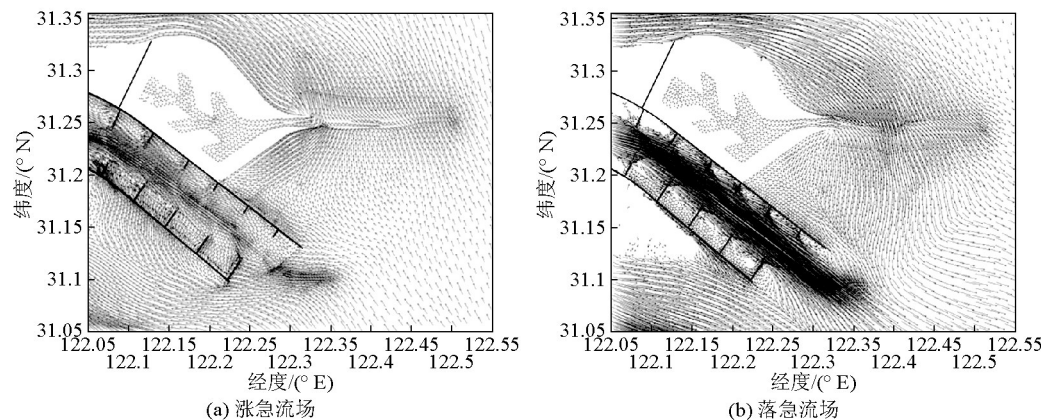


图5 北线方案后大潮涨、落急流场

Fig.5 Flow field of flood and ebb during spring tide for the north channel plan

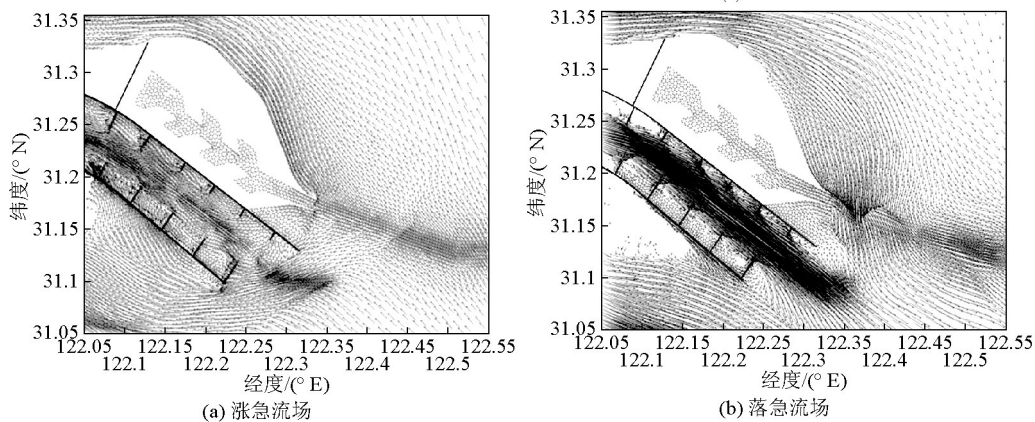


图6 南线方案后大潮涨、落急流场

Fig.6 Flow field of flood and ebb during spring tide for the south channel plan

从上述流场整体态势可以看出,横沙浅滩挖入式港池南、北线方案对长江口北港和北槽的水动力特征总体上呈现较为微弱的影响。长江口北槽深水航道区域的水动力结构基本保持不变,流速、流向以及断面水流量没有显著变化,仅为2%~3%。

由于南线方案的圈围挡沙堤和外航道离长江口北槽导堤丁坝以及外航道较近,对北槽下部纳潮量的影响达到8.2%,对北槽中部纳潮量的影响达到4%,对北槽口外深水航道有一定程度的影响;而北线方案的挡沙堤、外航道与北槽深水航道工程区域距离较远,对北槽下部纳潮量的影响只有3.6%,对北槽中部纳潮量的影响程度也只有1.2%,影响几乎可忽略。

同时通过对比南、北线工程完成后的水动力模拟结果发现,两种方案在进港外航道都有较为明显的跨越航道的横流,北线方案横流方向以向南偏东为主,而南线方案以向南偏西为主。

从总体上看,北线方案对长江口北槽深水航道区域流场影响最小,在工程后航道区域的水动力结构也优于南线方案,因此推荐北线方案。

### 3.3 港池与航道回淤分析

横沙浅滩挖入式港池及进港深水航道规划设计的关键之一是解决回淤问题。对挖入式港池分别采用海港水文规范公式、底切力模式和曹祖德挟沙纳潮量模式<sup>[3]</sup>进行估算;对进港航道分别按海港水文规范公式、底切力模式和开敞式航道淤积公式等方法计算。

挖入式港池的回淤估算中,主要计算参数:港池口门-7 m处水体的年平均含沙量取0.3 kg/m<sup>3</sup>;平

均水深和港池开挖后的水深分别取7 m和23 m/16 m;港池水下浅滩面积68 km<sup>2</sup>;细颗粒泥沙的絮凝沉降速度取0.000 4 m/s,动水絮凝沉速为 $\omega=0.04$  cm/s,泥沙淤积临界摩阻流速 $u_{*i}=0.7$  cm/s,泥沙冲刷临界摩阻流速 $u_{*c}=1.0$  cm/s等。计算结果见表1。

表1 挖入式港池回淤估算

Table 1 Sedimentation estimation of the dig-in basin

计算方法	平均年回淤强度 (m·a <sup>-1</sup> )	年总淤积量 /×10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>
海港水文规范公式	0.35	2.17
底切力模式	0.36	2.243
曹祖德挟沙纳潮量模式	0.30	2.04
平均	0.34	2.151

深水航道回淤估算中,主要计算参数:口门-7 m处年平均含沙量取0.3 kg/m<sup>3</sup>, -10 m处取0.2 kg/m<sup>3</sup>, -15 m处取0.1 kg/m<sup>3</sup>等。计算结果见表2。

表2 进港深水航道回淤估算

Table 2 Sedimentation estimation of the channel

计算方法	平均年回淤强度 (m·a <sup>-1</sup> )	年总淤积量 /×10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>	说明
海港水文规范公式	1.06	1.11	外航道0~8 km段泥沙回淤较显著,8~18 km段回淤开始显著变小
底切力模式	1.57	6.07	集中在0~8 km航段,8~18 km段呈现冲刷特征
开敞式航道淤积公式	0.67	5.07	同时考虑挟沙力与剪切力作用
平均	1.10	7.41	—

大风天气下港池及外航道回淤估算中,主要计算参数:大风天气情况下的水体含沙量浓度取5倍年平均含沙量,即口门处为 $1.5\text{ kg/m}^3$ ;夏季台风和冬季寒潮影响下的大风天气持续影响时间约为5天。

采用底切力模式估算港池内回淤总量为 $1.83\times 10^6\text{ m}^3$ ,采用总量预估的方法估算泥沙回淤量为 $1.65\times 10^6\text{ m}^3$ ,采用海港水文规范计算方法估算泥沙回淤量为 $2.52\times 10^6\text{ m}^3$ 。综合3种方法计算得到的大风天气下的挖入式港池泥沙回淤量为 $1.6\times 10^6\sim 2.5\times 10^6\text{ m}^3$ 。

大风天气下外航道回淤估算采用海港水文规范计算方法,计算得外航道回淤量约为 $1\times 10^6\text{ m}^3$ 。

### 3.4 初步规划技术指标

规划港区的基本定位为国际枢纽港和国际物流中心,港区平面上布置了进港航道、港池、物流园

区和临港工业区等。所推荐的北线方案主要技术指标:进港航道长度约 $17\text{ km}$ ,航道基本尺度为 $450\text{ m}\times 23\text{ m}$ ;港池规划约 $60\text{ km}$ 的深水岸线和约 $30\text{ km}$ 的长江驳船岸线,可布置约150个大型深水泊位和100多个长江驳船、货船泊位;规划人工运河连接北港水道和港池实现江海对接,利于港池水体交换;规划陆域面积约 $200\text{ km}^2$ ,分别规划布置港口用地、物流园区和临港产业及仓储用地等;港口集疏运系统近期与长江隧道连接,远期开辟新的通道等。港区资源基本上可以满足上海港未来30年可持续发展的需求,将大大提升、完善上海国际航运中心的功能,大幅度提高国际航运竞争力,确保并壮大上海作为国际航运中心的地位。

横沙浅滩新港址初步规划示意图见图7。

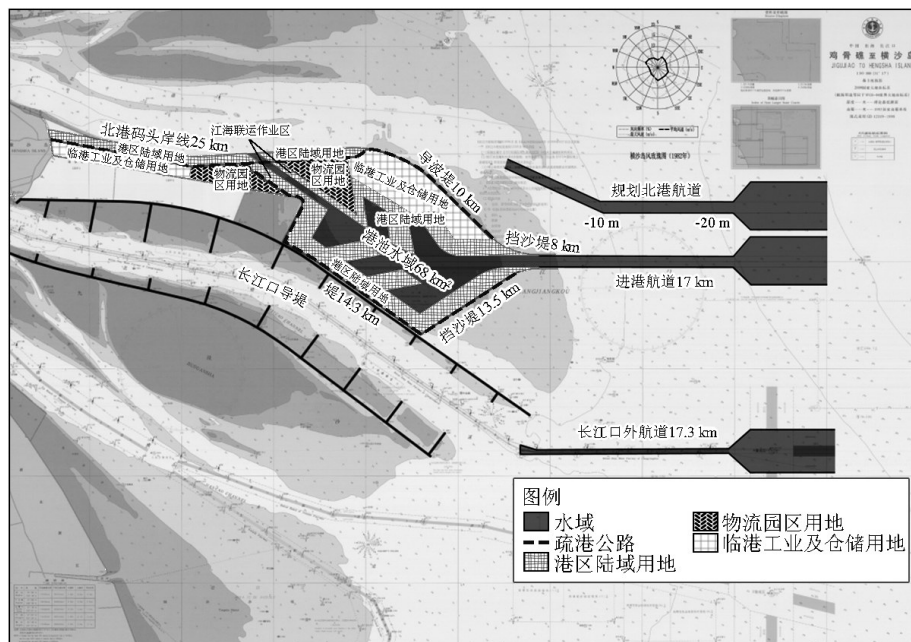


图7 横沙浅滩新港址初步规划示意图

Fig.7 Preliminary plan layout of the new Shanghai port site

## 4 结论与建议

通过对依托横沙浅滩开发挖入式港池技术的可能性以及建港关键技术的初步分析研究,可以得出以下几点结论。

1)横沙港址所拥有的资源条件能够满足未来30年上海港可持续发展的需求。横沙港址东距外海-20 m深水区不足 $20\text{ km}$ ,北靠长江口北港水道,

南邻长江口深水航道,通江达海,地理位置优越,具有良好的江海联运条件;依托横沙浅滩吹填成陆,形成大型挖入式港池,可提供约 $60\text{ km}$ 的深水岸线和约 $200\text{ km}^2$ 的土地资源;利用长江口外的深水资源规划-20 m以上深水航道,可以避开长江口泥沙回淤的问题;利用尚未开发的长江口北港水道南部约 $30\text{ km}$ 的岸线资源以及通过建设人工运河规划长江泊位,可以方便实现江海联运对接的运输系统。

2) 依托横沙浅滩开发建设大型港区技术上是可能的。横沙浅滩滩面变化稳定, -5 m 等深线内面积多年保持约 300 km<sup>2</sup>, 陆域形成可以利用航道疏浚土和港池挖泥, 总体保持平衡; 长江口-10 m 外水体含沙量较低(仅有 0.1~0.5 kg/m<sup>3</sup>), 海床稳定, 冲淤变化小, 横沙浅滩前沿稳定存在着一条近南北向冲刷带, 有利于横沙港区外航道建设; 港区形态布置可采用港池式布置, 口门导堤伸入-7 m 以上水深, 掩护条件好, 作业天数多, 回淤小; 江海联运可采用人工运河沟通, 水水中转便利, 陆路集疏运可与长江隧道连接或通过新建通道解决; 港区开发建设为先成陆后建设, 地质条件较好, 建设条件和施工技术难度不大, 远低于洋山深水港区工程的建设难度。港口开发建设对周边生态环境影响可控。

3) 依托横沙浅滩布置港口的初步规划形态分析结果表明其技术上是可行的。按照港区规划布置形态尽可能减少对周边水域的不利影响以及尽可能获得较大资源的原则, 所布置的初步形态方案通过流场数模分析, 不仅对长江口北槽航道没有负面影响, 而且由于横沙浅滩的成陆, 减少了横沙浅滩部分泥沙进入北槽深水航道, 有利于北槽深水航道的维护。采用多种方法对横沙浅滩挖入式港池和进港航道进行回淤估算, 当港池出口位于-7 m 处

时, 港池内平均淤积强度约为 0.34 m/a, 外航道年平均淤积强度约为 1.10 m/a; 大风天气持续影响时间 5 天, 水体含沙量浓度 5 倍于正常天气情况下, 港池总回淤量为 1.65×10<sup>6</sup>~2.6×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, 外航道回淤量约 1×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。

4) 对于本港区挖入式港池规划布置来说, 关键问题是进港航道的可维护性以及港池口门位置处流态是否利于大型船舶安全进出, 一旦这个问题处理得当, 内部规划形态可根据需要灵活布置。本文所设计的形态是初步的, 随着工作的深入将进一步优化。

综上所述, 初步研究认为依托横沙浅滩开发建设大型港区, 其区位优势明显, 资源丰富, 建设条件好, 没有不可克服的技术难题。建议有关部门抓紧组织横沙浅滩围垦后的新港址港口规划工作。

#### 参考文献

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 华东师范大学河口海岸国家重点实验室. 上海国际航运中心横沙浅滩挖入式港池规划方案研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.
- [2] 交通部规划研究院. 通过长江口货运量发展预测[R]. 北京: 交通部规划研究院, 2010.
- [3] 曹祖德, 杨 华, 张书庄. 环抱式与挖入式港池的纳潮淤积计算[J]. 水道港口, 2008, 29(2): 77-81.

## Technological possibility to develop the large-scaled port based on Hengsha shoal

Cheng Zekun, Shao Rongshun

(CCCC Third Harbor Consultants Co. LTD., Shanghai 200032, China)

**[Abstract]** In order to ensure the sustainable development of Shanghai Port and the economical and social development of Yangtze River Delta and Yangtze River Basin, this paper proposes and demonstrates the technological possibility of the port site on Hengsha shoal, analyzes the preliminary layout of the port by the numerical simulation model, and estimates the sedimentation intensity by means of various methods. The conclusion indicates that the port site of Hengsha shoal is possible and feasible.

**[Key words]** Hengsha shoal; port site; port plan; deepwater channel; port basin; sedimentation