



# 考虑危险品船舶应急停泊的 港内航道平面优化

黄小鹏<sup>1</sup>, 胡伟<sup>1</sup>, 赵志伟<sup>2</sup>

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120;

2. 连云港港 30 万吨级航道建设指挥部, 江苏 连云港 222000)

**摘要:** 针对沿海港区内无规划待泊或应急锚地, 且现状港区水域面积有限, 难以单独布置危险品船舶应急停泊区的问题, 进行了港内航道平面设计优化研究。结合风险分析、应急停泊及撤离需求、相关规范规定及港区水域现状条件, 通过选址分析、不同锚泊方式论证、多方案平面设计比选, 研究了港内危险品船舶应急停泊和撤离的合理性和可行性, 提出满足规范要求、具有可实施性的进港航槽兼做应急停泊区的港内航道平面设计优化方案。通过实际案例综合分析, 优化后的港内航道通航风险程度为“一般”; 满足设计船型应急停泊和撤离需求; 航道稳定性较好; 对周边水域影响较小; 具有一定的经济和社会效益。为港内航道水域兼作应急停泊区的平面设计及尺度优化提供了一定参考价值。

**关键词:** 港内航道; 危险品船舶; 应急停泊区; 平面优化; 综合评价; 参考价值

中图分类号: U656.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0073-08

## Plane optimization of channel within port area for emergency berthing of dangerous cargo vessel

HUANG Xiaopeng<sup>1</sup>, HU Wei<sup>1</sup>, ZHAO Zhiwei<sup>2</sup>

(1. CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. Lianyungang Port 300,000 DWT Channel Construction Command Headquarters, Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** This paper conducts research on the optimization of the plane design of channels within the port area in response to the problem that there is no planned waiting anchorage or emergency anchorage in the coastal port area, and the current water area in the port is limited, making it difficult to separately arrange the emergency anchorage area for dangerous cargo vessels. Based on risk analysis, the requirements for emergency berthing and emergency evacuation of vessels, relevant regulations and the current conditions of the port water area, through site selection analysis, demonstration of different anchoring methods, and comparison and selection of several plane schemes, the rationality and feasibility of emergency berthing and evacuation of dangerous cargo vessels in the port area are studied. An optimization plane design scheme of the channel within the port area that meets the requirements of the regulations and is feasible, using the water area of the channel within the port as the emergency berthing area, is proposed. Through comprehensive analysis of actual cases, the optimized channel has a “general” navigation risk level. It meets the emergency berthing and evacuation requirements of the designed vessel type. The channel has good stability. It has a relatively small impact on the surrounding water area, and certain economic and social benefits. This provides certain reference value for the plane design and scale optimization of using the water area of the channels within the port area as the emergency berthing area.

**Keywords:** channels within port area; dangerous cargo vessel; emergency berthing area; plane optimization; comprehensive evaluation; reference value

收稿日期: 2024-06-13

作者简介: 黄小鹏 (1991—), 男, 高级工程师, 从事水运工程研究、咨询、设计与施工管理等。

随着海运经济的发展，沿海港口进港船型及规模均大幅增加，大型港区进港航道基本建成，但港内航道与码头的建设尚未同步完成。随着码头泊位的先期建设，港内航道的平面布置与码头、泊位的港航衔接尤为重要。部分港区因防波堤已建，港区规划水域有限，现状码头停泊水域、回旋水域、航道水域、港内锚地、临时停泊区等的布置显得较为局促。特别是港内危险品船舶航道，其平面布置还需考虑危险品船舶紧急情况下的临时停泊和应急撤离。

由于液化石油气(liquefied petroleum gas, LPG)船舶的危险性，其进出港航道的设计要求也十分严格<sup>[1]</sup>。在港区内暂无待泊锚地且危险品船舶锚地距港区较远的情况下，LPG船舶进港航道、港池、泊位等各水域的平面设计及港航衔接则尤为重要。因此，结合连云港港徐圩港区液体散货泊位区进港航道工程，对危险品船舶进港航道平面布置和尺度进行优化设计。

### 1 工程背景

连云港港地处江苏省北部黄海海州湾西南岸，是陇海兰新铁路沿线广大地区最经济便捷的出海口。目前，连云港港已基本形成“一体两翼”的总体发展格局，其中徐圩港区已成为“南翼”重点发

展港区。随着徐圩临港石化产业项目的陆续投产，港区的液体化工及LPG等货物水运量将大大增加，LPG泊位及相关液体化工泊位也加快建设。为满足徐圩港区液体散货泊位区日益增长的船舶通航需要，航道于2020年4月开工建设，2023年5月竣工验收。

## 2 港口及航道状况

### 2.1 港口设施状况

航道位于徐圩港区四港池水域，四港池宽860 m，纵深2 080~2 610 m，港池端部规划为3个2万~10万吨级液体散货泊位，港池北侧规划为8个5万~10万吨级液体散货泊位，港池南侧规划为7个5万~15万吨级通用泊位。工程建设前四港池端部2个5万吨级、1个3万吨级液体散货泊位已投产<sup>[2]</sup>。

### 2.2 港口航道状况

连云港港30万吨级航道，由连云港区航道、徐圩港区航道和推荐航线组成。其中连接连云港区的30万吨级航道，可满足30万吨级散货船乘潮单向通航要求；连接徐圩港区的徐圩航道，可满足30万吨级原油船乘潮单向通航要求<sup>[3]</sup>。进港航道现状尺度见表1，徐圩港区航道及危险品锚地现状见图1。

表1 连云港港进港航道现状  
Tab.1 Current situation of approach channel for Lianyungang Port

航段	航段描述	航道规模	通航宽度/m	设计底高程/m	长度/km	轴线走向/(°)
连云港区航道	旗台作业区以外	30万吨级	285/350	-22.5	52.9	292~112 243~63
	X点以外	30万吨级	350/380	-21.8/-22.0	17.6	196~16 280~100
徐圩港区航道	X点以内	10万吨级	210	-13.3	7.3	

注：高程基面为当地理论最低潮面下。

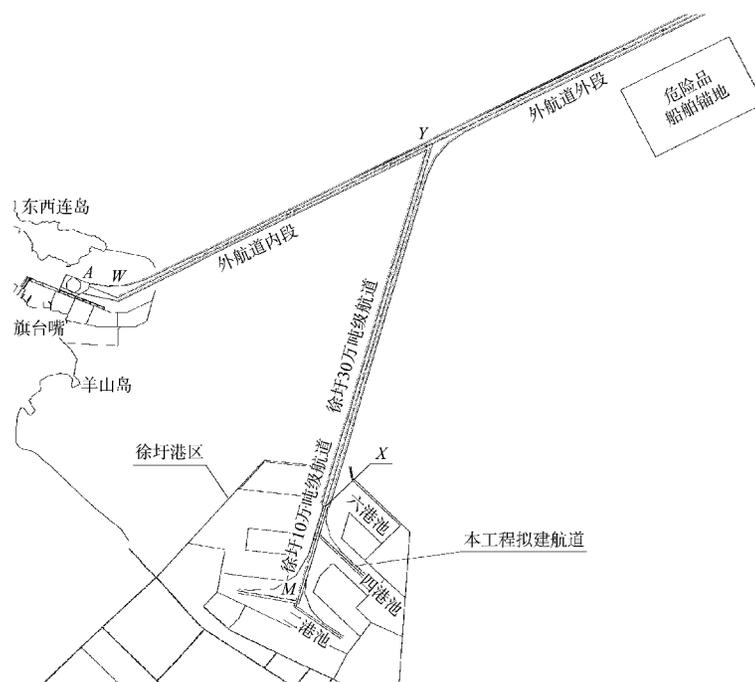


图1 2020年徐圩港区航道及危险品锚地现状

Fig.1 Current situation of waterway and dangerous cargo anchorage in Xuwei Port Area in 2020

### 3 航道原设计尺度

本航道规模为5万吨级LPG船乘潮单线航道,设计控制船型为5万GT液化石油气(LPG)船。根据JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[4]</sup>,结合预测的船舶通航密度、连云港地区的潮汐特征等,为尽可能提高LPG等危险品船舶的航行安全,经分析后确定航道设计乘潮水位为3.2 m(3 h 95%保证率)。航道轴线起自徐圩港区现有10万吨级航道 $Z_1$ 点,终点与四港池端部43#~45#码头前沿回旋水域 $Z_2$ 衔接,航道全长2.9 km、通航宽度185 m、通航水深15.3 m、设计水深15.7 m、设计底高程-12.5 m、设计转弯半径按10倍设计船长考虑,取2 300 m。

### 4 风险分析

航道建设前,四港池端部43#~45#泊位已建2个5万吨级LPG泊位和1个3万吨级化学品泊位,北侧46#~47#泊位拟建2个5万吨级LPG泊位,48#~49#泊位在建2个5万吨级液化烃泊位。

航道建成后,近期将服务6个5万吨级危险品船舶泊位同时运营。根据最新货运量和通航船型预测,本航道2025年5万吨级LPG船舶通航密度为3.98艘次/d(即约装卸2艘船/d)。在港口随机服务系统中,船舶到港规律一般遵循泊松分布,而装卸服务时间则主要遵循负指数分布或 $K$ 阶爱尔兰分布<sup>[5]</sup>,2条5万GT液化气船同时在泊作业的概率较大。考虑到企业实际进口采用现价合同采购,到港船舶规律一定程度将受到液化石油气价格波动的影响,在实际运行中则体现为船舶到港不均衡性增强、部分时期(液化石油气等价格较低时)船舶到港需求较为集中,若考虑该影响,基于泊松分布到港规律的测算结果,应急待泊锚位数需求量应适当扩大。海事、港口管理及使用单位普遍认为锚位数与泊位数比例至少为1:2<sup>[6]</sup>。运营过程中,码头泊位可能同时各存在1艘5万GT液化气船舶应急离港的需求。综上,拟设港内临时停泊水域应至少满足3艘5万GT液化气船舶同时抛锚的要求。

## 5 应急停泊需求、选址与平面方案

### 5.1 危险源分析

影响船舶在泊的因素较多,主要包括自然条件和突发险情事故两大类,为确保人员、船舶及码头安全或减少损失,靠泊船舶可应急离泊或离港。

1) 自然条件影响:根据相关规范<sup>[7]</sup>要求,风速、波高、能见度、流速超过液化气船舶系泊标准限值时,液化气船舶需提前停止装卸货作业,并组织船舶应急离泊。

2) 事故应急:液化气船舶在接卸货作业中发生泄漏、火灾事故,或码头发生火灾、爆炸事故时,为确保船舶及码头安全,液化气船舶须应急离泊。根据 GB 50058—2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》<sup>[8]</sup>及码头相关报告,当港区或周边 150 m 范围内有火灾时,应关闭输油管臂,停止一切作业,做好船舶随时可离泊准备。

### 5.2 应急停泊需求

据测算,5万吨级液化气船舶满载离泊时,所需航道设计底高程为-15.2 m,由于徐圩10万吨级航道设计底高程为-13.3 m,本航道乘潮通航设计底高程为-12.5 m,因此需候潮离泊,不利于船舶在突发情形下的应急离泊。为保证船舶离港不受潮位限制,需考虑将港池或港内航道部分水域进一步浚深,作为工程船舶临时应急锚泊区,待拖轮配备就位,选择合理的潮水(一般需预留不小于10%的船舶实际吃水富余量)应急离港<sup>[9]</sup>。

### 5.3 应急停泊区选址

连云港港现状危险品锚地位于徐圩航道 Y 点附近,距离本航道所服务码头较远,约 30 km,无法满足 LPG 船舶应急停泊需求。根据设计经验,应急停泊水域一般在港外靠近航道侧水域独立布置,但进港航道为乘潮航道,若应急停泊水域布置在港外,则必须将进港航道加深为全天候,投资巨大不经济。

根据规划,徐圩港区内无待泊锚地及应急停泊水域。液体散货泊位区位于四突堤,南北两侧主要为四港池和六港池水域。其中六港池水域内规划布置有 4 个 30 万吨级原油泊位和 12 个 5 万~

10 万吨级液体散货泊位,港内航道及衔接水域的平面布置已较为局促,无法新设应急停泊水域。

四港池南、北两侧水域规划为 5 万~15 万吨级液体散货泊位,港内水域狭窄,无法单独布置。四港池中部与拟建航道重合水域,可以考虑兼做航槽,并设置应急停泊区(I),疏浚量最少,但需做好港航衔接、应急撤离路线梳理以及与驳岸保持安全距离,选址位置见图 2。四港池西侧水域与徐圩现状 10 万吨级航道衔接处规划有支持系统泊位,为减少对徐圩航道通航船舶的影响,应急停泊区(II)需与现状航道保持一定安全距离,应急船舶自码头撤离的转向角较大,实际操作难度大,平面布置需考虑转弯处的衔接,占用水域更大。该处滩面较浅,疏浚量大,还应考虑应急船舶自码头撤离至此,部分乘潮航段也需进一步加深至全天候,投资较大,工程经济性较差。因此,推荐在四港池中部水域设置应急停泊区。

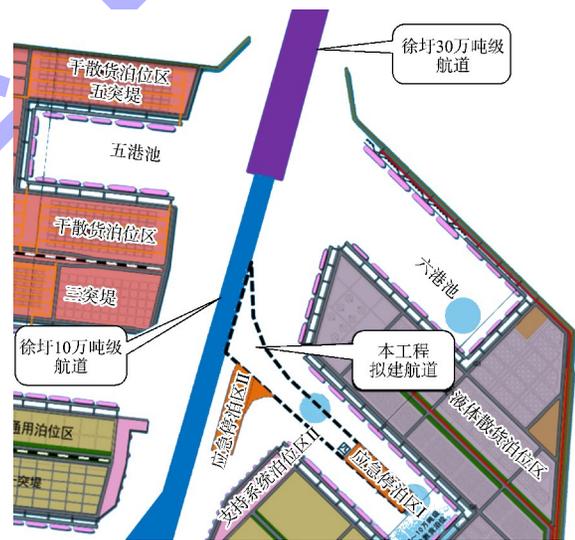


图 2 应急停泊区选址

Fig. 2 Location selection of emergency anchorage area

此外,锚地水域还要求避风条件较好、水深适宜、地形和底质良好、水流较缓<sup>[10]</sup>。四港池水域底质主要以粉砂、粉质黏土、中粗砂为主,适宜船舶锚泊需要;港区防波堤的建设对风、浪、流均有一定的遮挡作用,有利于船舶在港池进行临时抛锚应急。综合考虑风、流、底质等因素,四港池内设置临时停泊区的选址合理。

## 5.4 应急停泊区平面布置方案

### 5.4.1 锚泊水深设计

应急停泊区水深计算参考规范中港内锚地水深要求。为保证在突发情况下船舶能迅速离开码头,水深应满足5万GT液化气船舶全天候通航需求。经计算,应急停泊区的设计底高程为-15.2 m,与码头前沿停泊水域设计底高程一致。

### 5.4.2 锚泊方式选择

根据风险分析结论,四港池内临时停泊区水域尺度应满足3艘5万GT液化气船舶同时抛锚要求。由于四港池宽约860 m,船舶采用单锚锚泊几乎完全占用整个港池,对两侧的码头设施存在一定的隐患,且对整个港池进行开挖并维护,成本较高,因此单锚系泊方式不适合。而单浮筒或双浮筒系泊方式,尽管船舶所占水域面积相对小,但该方式需设置浮筒,且系泊时间长,在港内设置浮筒将严重碍航,也不能满足应急情况下的系

泊要求。因此,在确保船舶安全的前提下,需缩减船舶临时抛锚水域尺度,建议船舶应急离港时抛双锚或采用抛首锚与拖轮傍拖(图3)相结合的方式,共考虑3种锚泊方案:

方案1:船舶抛八字锚,锚链张角 $120^\circ$ ,出链长度150 m。3艘船所需锚泊水域尺度为长1 015 m、宽300 m。

方案2:船舶抛一字锚,出链长度150 m,多船同时抛锚时,相邻两船外抛锚链端部安全间距50 m。3艘船所需锚泊水域尺度为长1 790 m、宽137 m。

方案3:船舶抛首锚与消拖两用拖轮傍拖相结合的方式,出链长度150 m,拖轮在5万GT液化气船中后部傍拖,相邻2个抛锚船外抛锚链端部安全间距50 m。采用船抛锚后,车舵仍不能停,使用大车的车舵来抵消水流作用,使大船不偏转。3艘船所需锚泊水域尺度为长1 340 m、宽145 m。

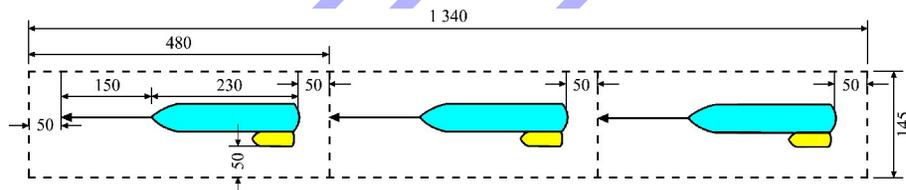


图3 3艘船抛首锚与拖轮傍拖(单位:m)

Fig. 3 Three ships throwing bow anchor and tugboat alongside towing (unit: m)

### 5.4.3 平面布置

为防止发生火灾的危险化学品货船或泊位危及到附近环境,临时停泊区应布置在防火距离以外的适当水域。根据JTS 158—2019《油气化工码头设计防火规范》<sup>[11]</sup>,液化石油气火灾危险性属甲A类,本次拟设临时停泊区与泊位前沿线的防火间距不小于150 m。根据《海港总体设计规范》,港内锚地采用单锚或单浮筒系泊时,锚地边缘至码头建筑物安全间距不应小于1倍设计船长。船舶应急锚泊受港池水域范围的限制,无法采用抛单锚的方式,现选择的锚泊方式为船舶抛双锚或

抛首锚和消拖两用船傍拖相结合的方式,减小了船舶的活动范围,因此,应急停泊区与附近建筑设施的安全距离可适当减小,取200 m较为合适。

上述临时停泊区3个锚泊方案,与规划43#~49#泊位以及通用泊位的距离均大于200 m,满足安全间距要求,港区规划泊位营运后,进出港船舶应注意邻近泊位船舶的动态,若有船舶应急锚泊,其他船舶应暂缓进出港和靠离泊作业。各方案优缺点对比见表2。综合考虑安全因素、平面水域占用、便于船舶应急离港等因素,建议采用方案3的平面布置方案。

表2 平面布置方案对比  
Tab. 2 Comparison of plan layout schemes

方案	水域尺度	优点	缺点
方案1(八字锚)	长1 015 m、宽300 m	顺航道方向占用水域长度最小；船舶抛双锚偏荡较小，走锚风险低	垂直航道方向占用水域长度最大，相对而言距离两侧规划码头距离较小；操纵复杂且有风流影响时易发生锚链绞缠 <sup>[12]</sup> ；船舶抛双锚不利于船舶的应急离港
方案2(一字锚)	长1 790 m、宽137 m	垂直航道方向占用水域长度最小，距离两侧规划码头距离安全间距更大	顺航道方向占用水域长度最大；船舶抛双锚不利于船舶的应急离港
方案3(首锚与拖轮傍拖)	长1 340 m、宽145 m	拖轮傍拖便于船舶应急离港；拖轮傍拖有助于船舶抵抗更大等级的风浪	需要大马力拖轮傍拖

### 5.5 应急撤离路线

徐圩港区四港池液化气船舶离港需先后经过港池水域、工程航道水域、本航道与徐圩10万吨级航道衔接段水域(转弯段)、徐圩10万吨级航道水域、徐圩30万吨级航道水域、连云港主港区危险品锚地。

根据港池水域现状及港航衔接等，将应急停泊水域设置在码头前沿港内水域内及拟建航道内段，实现各水域衔接通畅，在确保航行安全的同时，兼顾应急停泊。因此，本航道内段设计尺度需进一步优化，兼顾LPG船舶全天候临时应急停泊功能，设计尺度优化后见表3，总体平面布置优化后见图4。

## 6 总平面方案优化设计

综合考虑应急停泊方式及防火间距要求，并

表3 航道设计尺度  
Tab. 3 Channel design dimensions

航段	通航宽度/m	通航水深/m	设计水深/m	设计底高程/m	长度/km	轴线走向/(°)	转弯半径/m	边坡
外段(Z <sub>1</sub> -Z <sub>1</sub> )	185	15.3	15.7	-12.5	1.9	134~314	2 300	1:7
内段(Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub> )				-15.2	1.0			

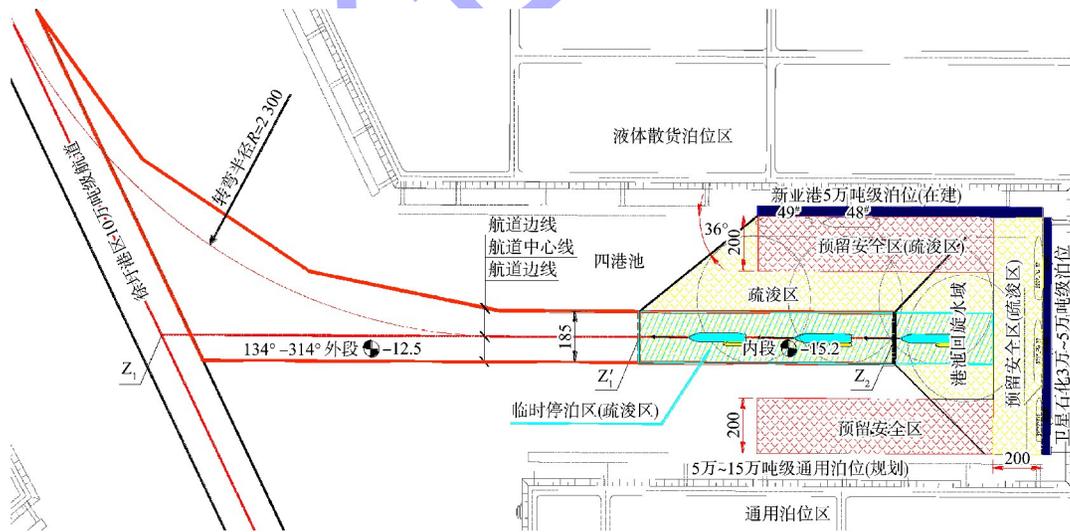


图4 优化后航道总平面布置 (单位: m)

Fig. 4 General plan layout of optimized channel (unit: m)

## 7 平面方案优化效果分析

### 7.1 便于应急撤离

本航道主要服务对象为徐圩港区四港池43#~49#液体散货码头。由于规划泊位距离出港航道、

锚地距离较远，不利于船舶在紧急情形下应急离港。结合徐圩港区的地理环境，从通航安全与港口作业安全的角度，上述液体散货泊位与港池和支航道的水域应满足船舶应急撤离的要求。

航道总平面布置在满足通航需求的前提下,进一步利用港区进港航道及港池平面现状,考虑通航船型为危险品船舶的特殊性,进行航道内段的尺度优化,兼顾5万GT液化气(LPG)船舶临时停泊和应急撤离的需求。平面优化后既保障了通航安全,又增加了航道水域应急停泊功能,更利于船舶在紧急情形下的应急离港,进一步保障了港口和航道的营运安全。

### 7.2 对港内泊位船舶的操作空间影响有限

综合考虑能见度、风、水流、波浪、临时停泊、船舶交通管理系统(vessel traffic system, VTS)监管、码头管理、应急拖轮配备、导助航设施、船舶交通量、障碍物等风险影响因子矩阵分析,船舶应急撤离港区的通航风险处于“一般”程度。应急停泊区的平面布置对港池两侧码头泊位船舶操作影响较小,对端部43#~45#泊位港池水域占用稍大,但作为应急水域,在危险船未发生险情的正常作业期间不存在水域长期占用的影响,因此对港内泊位船舶的操作空间也并无影响,实际运营效果表现良好。

### 7.3 具有一定的社会和经济效益

徐圩港区内无待泊锚地,且港内平均水深约5.0 m,无法满足危险品船舶的应急锚泊需求。应急停泊水域的设置徐圩港区液体散货泊位区码头的正常、持续营运提供了更多的安全保障,具有一定的社会效益。若在港内单独选址设置应急停泊水域及自码头撤离的通道,则疏浚量至少350万 $m^3$ ,基建费用约6500万元。本次航道内段尺度优化加深,兼作应急停泊区,疏浚量仅55万 $m^3$ ,费用约1100万元,相比港内单独设置方案,可有效减少基建投入。但与此同时,航道内段兼作应急停泊水域对港区的应急管理提出了更高要求,对其他营运码头泊位船舶的操作空间也有一定的影响,但可以通过制定应急管理方案及加强助航设施配备等措施进行化解。总体来看,仍具有一定的经济和社会效益。

### 7.4 对航道稳定性影响较小

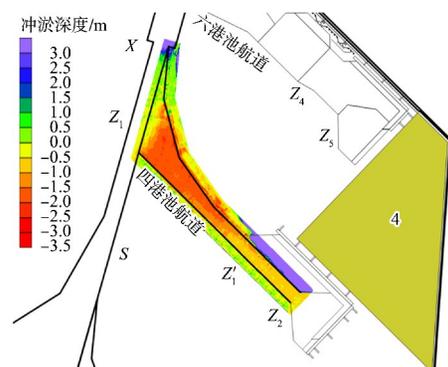
根据工程流场、波浪场、含沙量分布等特征以及回淤动力和回淤环境分析,经数学模型计算预

测,航道内段兼顾应急停泊水域与否,对航道水域的回淤影响有限,具体回淤量预测对比见表4。

表4 回淤量对比  
Tab. 4 Comparison of siltation volume

对比内容	设计底高程/m	航道回淤量预测值/ (万 $m^3 \cdot a^{-1}$ )	结果对比	
			绝对值	相对值/%
内段兼顾应急停泊	内段-15.2	128.0	3.8	3.1
	外段-12.5			
内段不兼顾应急停泊	全段-12.5	124.2		

本航道于2020年9月交工后,对全航道进行了约15个月的回淤观测(2021年1月—2022年4月)。航道实测回淤分布见图5。观测结果显示:航道外段的实测年化回淤量约69.4万 $m^3$ ;内段的实测年化回淤量约11.1万 $m^3$ ;全段的实测年化回淤量合计约80.5万 $m^3$ ,小于预测值。经回淤分布分析,航道平面布置优化后,整体稳定性较好,特别是加深设计后的内段航道,实际淤积强度较小,回淤分布符合预测。



注: 正为冲; 负为淤。

图5 2021年1月—2022年4月航道实测回淤分布  
Fig. 5 Measured siltation distribution in channel from January 2021 to April 2022

## 8 结论

1) 通过应急停泊需求分析、临时停泊水域选址、平面布置优化等,可利用港内航道设置临时停泊区,便于船舶出险后应急撤离,满足规范要求。

2) 通过经济效益和社会效益分析,港内航道部分水域兼做应急停泊区,疏浚费用增加有限,可兼顾危险品船舶应急撤离,有利于港口码头的运营和管理,具有可实施性。

3) 根据回淤研究成果, 在港内航槽内布置应急停泊水域, 航道年回淤强度及维护量增加有限, 航槽兼作应急停泊水域的平面方案效果较好, 可在港池及港内航道设计中推广应用。

4) 应急停泊水域的相对位置、设计尺度、对船舶撤离方案和泥沙淤积的中、长期影响尚未进一步研究, 因此关于应急停泊水域的平面布置及对港池或航道减淤的效果尚有进一步的研究空间。

#### 参考文献:

- [1] 陈恺, 张银苗, 韩非非. 液化天然气码头进港航道平面布置设计[J]. 水运工程, 2013(10): 128-132.  
CHEN K, ZHANG Y M, HAN F F. Layout design of approach channel of LNG port [J]. Port & waterway engineering, 2013(10): 128-132.
- [2] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 连云港港徐圩港区液体散货泊位区进港航道工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2019.  
CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd. Engineering feasibility study report on the approach channel project of liquid bulk cargo berth area in Xuwei Port area, Lianyungang Port [R]. Shanghai: CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., 2019.
- [3] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 连云港港徐圩港区液体散货泊位区进港航道工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2020.  
CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd. Preliminary design of the approach channel project of liquid bulk cargo berth area in Xuwei Port area, Lianyungang Port [R]. Shanghai: CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., 2020.
- [4] 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.  
Design code of general layout for sea ports: JTS 165-2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [5] 方利鹤, 车军. 候潮进港条件下锚位数确定方法探讨[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(7): 39-40.  
FANG L H, CHE J. Discussion on the method of determining anchor number in tiding approach channel condition [J]. China harbour engineering, 2018, 38(7): 39-40.
- [6] 连石水, 卢永昌, 孙继斌, 等. 海港候潮锚地锚位数计算[J]. 水运工程, 2020(11): 78-81, 93.  
LIAN S S, LU Y C, SUN J B, et al. Calculation of anchorage number for waiting tidal window in harbor [J]. Port & waterway engineering, 2020(11): 78-81, 93.
- [7] 液化天然气码头设计规范: JTS 165-5—2021[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.  
Code for design of liquefied natural gas port and jetty: JTS 165-5-2021[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [8] 爆炸危险环境电力装置设计规范: GB 50058—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.  
Code for design of electrical installations in explosive atmospheres: GB 50058-2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [9] 武汉理工大学. 连云港港徐圩港区四港池 43#~49#液体散货泊位船舶应急撤离方案研究报告[R]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.  
Wuhan University of Technology. Research report on emergency evacuation plan for liquid bulk cargo berths 43#~49# in the fourth harbor pool of Xuwei Port area, Lianyungang Port [R]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.
- [10] 李桑名. 基于排队论的湛江港湾内锚地总体布局分析[J]. 水运工程, 2024(7): 56-61.  
LI S M. Overall layout of anchorages within Zhanjiang harbor bay based on queuing theory [J]. Port & waterway engineering, 2024(7): 56-61.
- [11] 油气化工码头设计防火规范: JTS 158—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.  
Code for fire protection design of oil & gas and chemical terminals: JTS 158-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [12] 刘松. 论各种锚泊方式的应用[J]. 天津航海, 2017(1): 10-13.  
LIU S. Application of various anchoring methods [J]. Tianjin of navigation, 2017(1): 10-13.

(本文编辑 赵娟)