



实船操纵试验的多因素观测及分析

刘鹏飞, 徐 锐

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对传统数值模拟手段在复杂风、浪、流条件下对通航安全研究代表性不足的问题, 通过借鉴国内大型水电工程及内河港口的研究方法, 采用现场实船操纵试验结合多因素观测的方法进行研究。以嵊泗县沈家湾三期车客渡码头工程为例, 对各类影响因素如风、浪、流等进行综合观测, 结合靠离泊过程中船舶的实际位置变化情况, 论证工程平面布置的合理性并提出保障通航安全的措施。结果表明, 所采用的实测方案可准确观测影响船舶操纵安全的各影响因素, 准确量化影响因素数据, 便于在保证船舶安全的前提下充分、合理地利用岸线资源。

关键词: 码头选址; 实船操纵; 多因素观测

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0020-06

Multi-factors survey and analysis of vessel maneuvering test

LIU Peng-fei, XU kun

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

Abstract: Aiming at the problem that the traditional numerical simulation method is insufficiently representative to the navigation safety research under the complex wind, wave, and current conditions, we borrow the research methods of domestic large-scale hydropower projects and inland ports, use the method on-site actual vessel maneuvering test combining with multi-factor observation, take the third phase of the car and passenger ferry terminal project in Shenjiawan of Shengsi County as an example, conduct comprehensive observation of various influencing factors such as wind, waves, and currents, demonstrate the rationality of the research project layout, and propose the measures to ensure navigation safety combining with the ship position varying during berthing process. The results show that the measured scheme can accurately observe the influencing factors of ship handling safety, accurately quantify the data of influencing factors, and make full and reasonable use of shoreline resources on the premise of ensuring ship safety.

Keywords: site selection; vessel maneuvering; multi-factors survey

在外海水域的码头选址时, 为满足船舶靠离泊安全, 一般码头选址要求风浪较小、涨落潮流的流路集中。但随着优质港口岸线的不断开发, 可供利用的优质岸线越来越少。目前外海港口岸线的开发过程中, 由于岛礁地形复杂、岸线曲折、面临外海, 工程水域往往面临着流态杂乱、风浪较大、岸线有限等不利因素。在有限的岸线条件

下, 各码头间距离较近, 船舶靠离泊过程中的安全问题较为突出。

目前, 小洋山岛已建的水陆客运设施尚有不足, 为进一步提高深水岸线利用率, 优化航线布置, 方便当地居民水上交通出行, 嵊泗沈家湾车客渡码头三期工程的建设也势在必行, 码头前沿线布置于二期 1 000 总吨级车渡泊位西侧, 方位角

收稿日期: 2020-09-11

作者简介: 刘鹏飞(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事水文观测工作。

为 N66°~N246°, 泊位总长 221 m, 码头面宽 12 或 40 m, 仅外档靠泊。西端布置 3 000 总吨级车渡泊位, 利用车渡泊位的东端接岸设施段布设 1 000 总吨级客运泊位。总平面布置如图 1 所示。

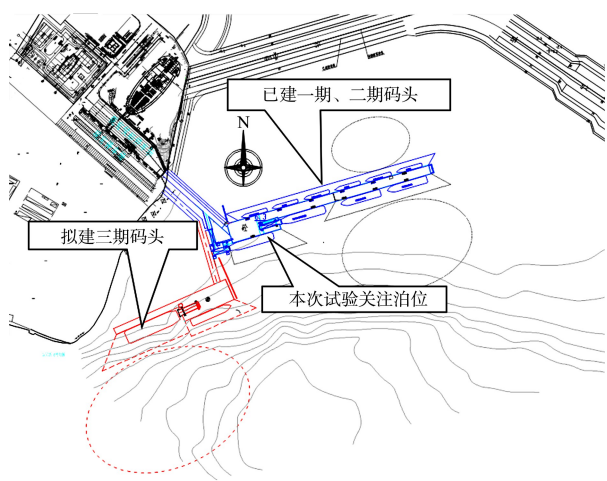


图 1 码头平面布置

由于拟建三期码头与二期 1 000 总吨级车渡泊位较近, 三期码头建成后, 船舶在靠离原二期泊位时可能存在一定的安全风险。根据邻近长期观测站多年资料, 工程海域附近以风浪为主, 大风大浪相伴而生; 受季风影响, 冬季多为偏北向浪, 夏季多偏南向浪, 本工程地处小洋山岛东端, 东北侧建有沈家湾防波堤, 主要受 E~SE 向外海浪影响。另根据 2019 年 7 月实测资料, 工程外侧水域潮流以往复流为主, 工程局部水域潮流受沈家湾防波堤影响, 形成半包围水域, 水流呈弱回流, 且涨潮期间为较大范围顺时针回流, 落潮期间整体流路偏向外海方向, 但码头前沿水域会出现局部逆时针回流区。

对于航行安全问题, 目前主要通过船舶操纵数值模拟进行研究^[1-2], 但在复杂的风、浪、流条件下, 特别是在本工程类似的近岸回流区等航行条件较为复杂^[3]的情况下, 数值模拟手段对船舶靠离泊的安全代表性较为有限, 为充分分析三期工程平面布置的合理性, 参照国内大型水电工程^[4]及内河港口^[5]的研究方法, 开展实船试验。同时综合观测现场的实际风、流、浪条件, 以获

取科学、可靠的技术参数, 为码头平面布置以及后期设计提供决策参考。

相比于传统的数值模拟方式, 实船试验主要有以下优势: 1) 虽然影响因素较为复杂, 但可以由实际观测对各因素进行具体量化, 而模型中模拟条件及精度有限, 常做概化处理, 相对而言实船试验更为客观; 2) 结合船舶位置观测, 实船试验可以准确地记录船舶运行轨迹, 进而真实地还原靠离泊过程, 以便于深入分析安全问题。

1 试验方案

由于二期 1 000 总吨级泊位最大运营船型为 3 000 总吨级车客渡船舶, 除此之外运营船舶多为 500 总吨级客船, 综合考虑码头日常营运船舶的技术参数及性能, 选择这两类船舶先后进行实船操纵试验, 各船只技术参数见表 1。

表 1 试验船舶参数

船舶	吨位/t	总长/m	型宽/m	型深/m	吃水/m
舟桥 5 号	3 689	82.32	15.5	5.5	3.50
洋盛 7 号	500	36.00	7.2	3.2	1.85

实船试验关键点为恶劣通航条件下的通航安全问题, 因此更应注重在自然条件有一定代表性(即在可通航前提下相对较不利)的情况下进行。但由于自然条件的不可控性, 且在实际操作过程中, 客运码头遇到风浪条件较为恶劣的情况就会停止运营, 因此在试验时机选取时主要考虑对实际操作影响较大的潮流因素, 选择在大潮时期潮流最强的情况下开展试验。由于新建码头在二期泊位西侧, 结合航线及周边码头位置关系, 对通航安全较不利的航行过程为船首朝西的靠、离泊过程(掉头离泊过程), 故靠离泊试验过程船体方向也是以此为主。

本次试验须配合船舶营运安排进行, 结合船舶安排及现场情况, 试验共进行 11 次, 为保证与实际运营情况一致, 每次试验过程均包括有完整的离泊出港、进港靠泊过程, 且靠泊过程全部为带缆操作。具体时间过程见表 2。

表 2 试验船舶参数

试验编号	船舶	开始时间	结束时间	历时/min
A	舟桥 5 号	2019-12-11T18:20	2019-12-11T18:37	17
B		2019-12-11T18:57	2019-12-11T19:08	11
C		2019-12-11T19:51	2019-12-11T20:03	11
D		2019-12-11T20:48	2019-12-11T21:04	15
E		2019-12-12T07:25	2019-12-12T07:38	13
F(不掉头离泊)		2019-12-12T08:20	2019-12-12T08:28	8
G	洋盛 7 号	2019-12-12T09:52	2019-12-12T10:03	11
H		2019-12-12T10:50	2019-12-12T10:56	5
I		2019-12-12T11:54	2019-12-12T12:00	6
J		2019-12-12T12:50	2019-12-12T12:56	5
K		2019-12-12T13:51	2019-12-12T14:03	11

为准确分析实船操纵试验成果^[6]，针对以下各类影响船舶操纵的水文因素以及安全性判别依据进行观测，并结合各观测要素特点及现场条件采用合适的方案。

1) 风速、风向观测。考虑到本次风速、风向观测对便携性的要求，在观测过程中采用 FYF-1 型手持式测风仪。在观测过程中，根据实际测验时间进行同步风速、风向、工程区域实际海况的观测与记录。

2) 潮流、波浪观测。采用挪威 Nortek AS 公司生产的 AWAC 浪龙 600 kHz 声学多普勒波浪剖面流速仪进行潮流及波浪观测，仪器最大的特点是可以同时观测剖面潮流分布情况及海面的波浪变化过程^[7]。

考虑波浪观测站水面船只往来及海底地形变化较为平缓的情况，为保证仪器及资料安全，采用沉底式安装，即将仪器安装在不锈钢安装架的万向转环中，可保证仪器垂直向上。另在支架底部加装重块，以保证支架在水底姿态稳定，不会因水流冲击而翻倒或产生位移。仪器投放时，水面上下同时作业确保仪器支架的安装垂直水底、姿态稳定。为防止来往船只破坏影响，沉底架子与岸上码头用绳子连接，并做沉底处理，以保证仪器设备及资料安全。

3) 船舶位置观测。试验过程中，船舶的航速、船迹线分布等是反映航行情况的关键因素，实施过程中，采用全球定位系统 (global positioning system, GPS) 进行测量。

试验开始前，在已知点上进行坐标及高程比对，经校核，平面点位差值及高程差值均满足观测精度的要求。施测过程中，分别在船首和船尾安装固定流动站 GPS 接收机，在每次靠离泊试验过程中，利用 GPS 接收机在船舶靠离泊过程中实时采集位置数据，以便后期计算船速并绘制航迹线。

为判断船舶靠离泊安全性，须在实船操作过程中记录船体与预设安全线的最近距离。考虑到须留有一定安全富余，将安全线设置在距拟建三期码头约 20 m、距防护桩约 14 m 的位置。同时在靠离泊操作过程中采用摄像的方式记录船舶及安全线的相对位置以便与船舶位置数据相互验证，即在安全线与码头交汇位置设立两根基准旗 A 与 B，将摄像机架设在后方延长位置，从而可以更直观地在影像中确定安全线位置，如图 2 所示。

4) 主要仪器参数。采用的仪器及其技术指标见表 3，其中各设备均按要求经过检定机构检定，对于没有强制检定规定的设备均按相应规范精度要求在工作时进行自检。

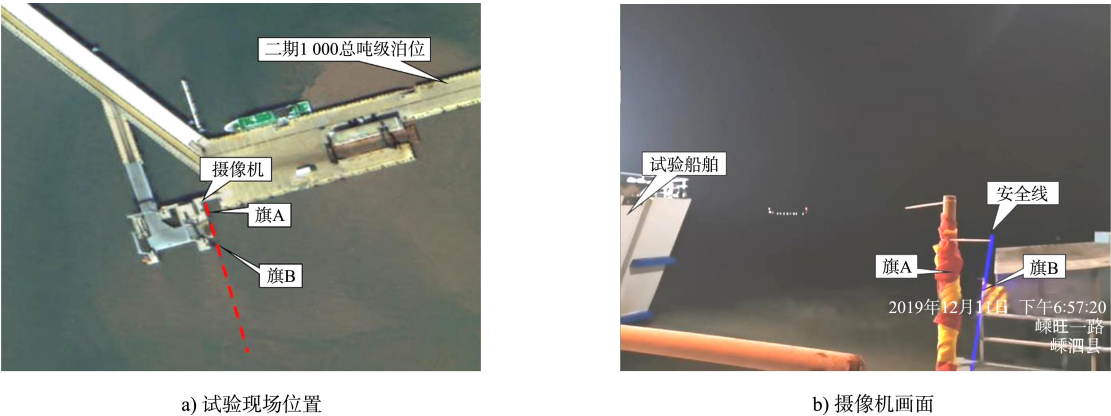


图 2 试验现场位置及摄像机画面

表 3 测验主要仪器及技术指标

用途	设备名称	型号	技术指标	产地	数量/台
定位	GPS 接收机	莱卡 GS10	定位精度优于±3m	美国	2
		华测 X91	定位精度优于±5m	中国	1
潮流及波浪测量	Nortek 浪龙	AWAC (600kHz)	测量精度: 流向误差为±2°; 流速误差为测量值的 1%±0.5 m/s; 波高精度为测量值的 1%; 波向误差为±2°; 周期范围为 0.5~30 s ^[8]	挪威	1
风速、风向观测	手持测风仪	FYF-1	风速精度为±(0.3 + 0.03v) m/s (v 为风速测值); 风向精度为±0.5°	中国	1

2 试验结果

2.1 水文条件观测结果

各次试验时间及对应的水文条件见表 4。工程区域在试验期间主要为北风、东北风, 其中 2019-12-11 晚间风力较强, 最大为 4 级风, 在 2019-12-12 上午时风力相对平缓; 波浪主要由东南方向、

东南偏南方向传播而来, 实测最大波高 $H_{1/10}$ 出现在 2019-12-12 早上试验 E 过程附近, 为 0.6 m; 实测最大周期 $T_{1/10}$ 出现在 2019-12-12 中午试验 K 过程附近, 为 4.91 s。整体而言, 试验过程中海况良好, 没有大浪过程。

表 4 试验过程风、浪、流观测结果

试验编号	时间	风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风向	风力等级/级	$H_{1/10}/\text{m}$	$T_{1/10}/\text{s}$	浪向	垂线平均流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	垂线平均流向/(°)
A	2019-12-11T18:20	6.5	NNE	4	0.30	3.46	SSE	0.55	238
B	2019-12-11T18:57	5.3	NNE	3	0.37	3.60	SSE	0.35	245
C	2019-12-11T19:51	4.9	NE	3	0.37	3.60	SSE	0.18	267
D	2019-12-11T20:48	5.4	NNE	3	0.40	3.59	SE	0.55	36
E	2019-12-12T07:25	5.0	ENE	3	0.60	3.26	ESE	0.22	31
F	2019-12-12T08:20	7.1	NE	4	0.52	2.80	ESE	0.44	13
G	2019-12-12T09:52	2.4	NE	2	0.32	2.91	SE	0.42	20
H	2019-12-12T10:50	2.7	NE	2	0.37	3.47	SE	0.29	14
I	2019-12-12T11:54	1.5	NNE	1	0.35	3.11	SE	0.26	57
J	2019-12-12T12:50	2.9	ENE	2	0.28	4.10	SE	0.10	216
K	2019-12-12T13:51	2.4	ENE	2	0.22	4.91	SE	0.02	306

2019-12-11、2019-12-12 属于大潮过程。结合工程海域前期的潮流观测成果及本次的实测数据, 试验期间的潮流具有一定的代表性, 可视为工程

水域的强潮流情况。其中试验 A~C、J、K 靠离泊期间为偏西流向, 试验 D~I 靠离泊期间为偏东流向。其中最大偏西向流速出现在试验 A 中, 垂线平

均流速达 0.55 m/s(238°), 最大偏东向流速出现在试验 F 中, 垂线平均流速达 0.45 m/s(13°)。

2.2 船舶位置观测结果

根据实测 GPS 数据, 对历次试验离泊过程中船首、船尾与安全线的最近距离进行统计, 结果见表 5。试验过程中舟桥 5 号车客渡与安全线距离在 61.8 m 以上(即距拟建三期码头在 80 m 以上), 洋盛 7 号客轮与安全线距离在 51.6 m 以上(即距拟建三期码头在 70 m 以上)。

表 5 试验过程船首、船尾与安全线最近距离

试验序号	与安全线最近距离/m	
	船首	船尾
A	83.3	61.8
B	130.4	103.8
C	174.3	168.0
D	142.2	131.9
E	129.8	116.2
F	0(不掉头离泊)	0(不掉头离泊)
G	72.4	71.1
H	51.6	52.6
I	72.0	71.4
J	54.8	53.8
K	80.8	88.6

将各次实船试验过程中的船头、船尾 GPS 轨迹线相连, 以显示靠、离泊位过程中的船体位移轨迹线。此外, 将各次试验过程中船体距离控制线最近的位置拍摄出来, 以便更直观参考。由于篇幅限制, 在此仅列出试验 B 与 G 的轨迹线示意图及安全线照片, 见图 3~5。

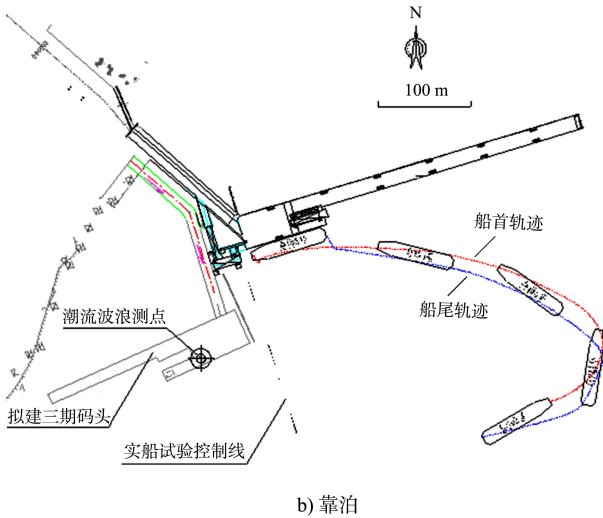
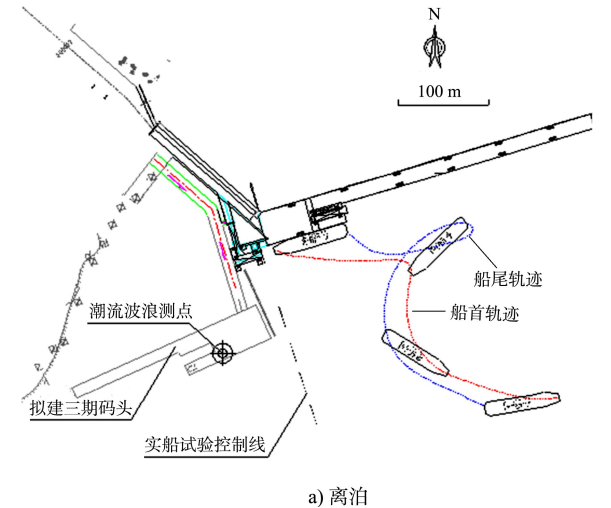


图 3 试验 B-舟桥 5 号车客渡离泊及靠泊轨迹线

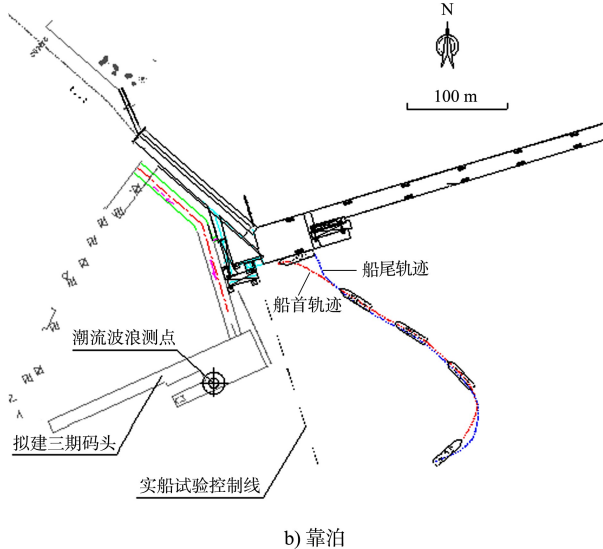
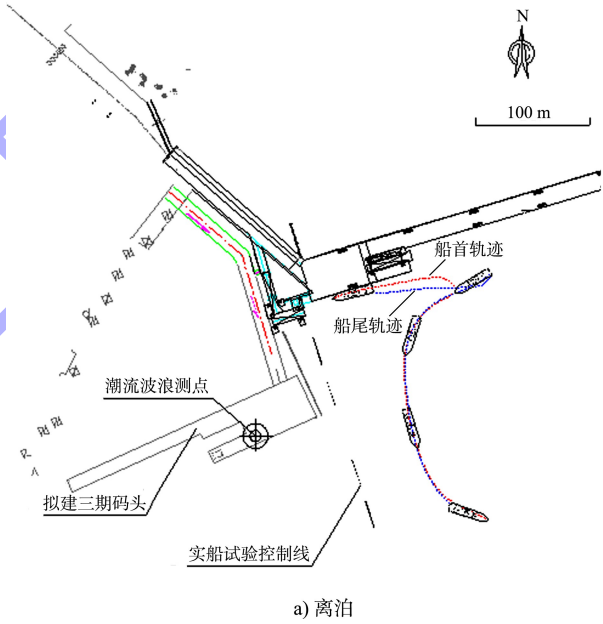


图 4 试验 G-洋盛 7 号客轮离泊及靠泊轨迹线



a) 试验B



b) 试验G

注: 图中虚线为试验安全线参考位置。

图 5 试验 B 与 G 试验船舶与安全线最近距离

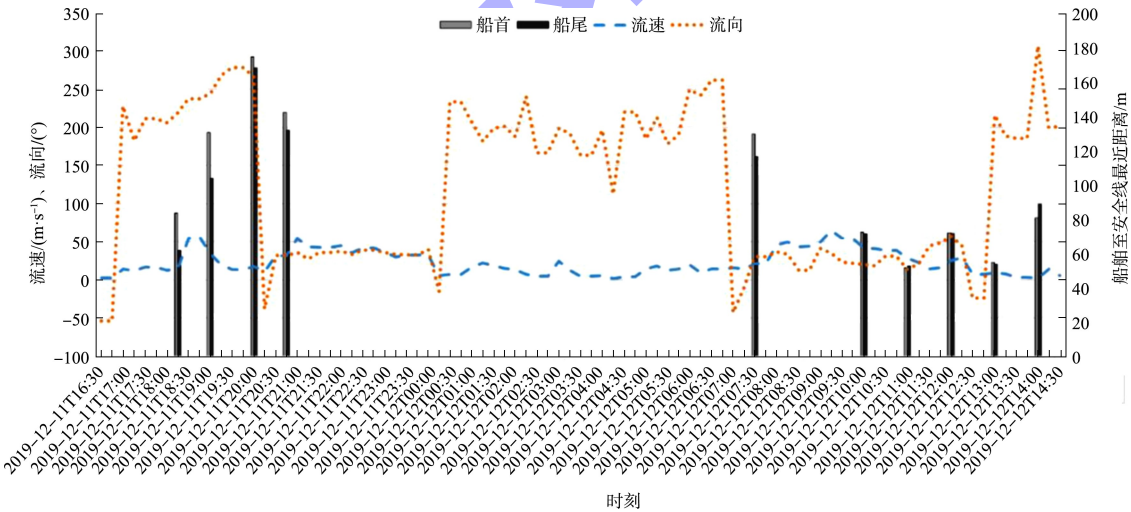


图 6 试验期间流速、流向及试验船舶与安全线最近距离变化过程

对于船舶操纵而言，主要的不利情况发生于试验船舶船首朝西离泊的过程中，本次试验也主要针对这一情形。结合试验过程，由于船舶均可正车和倒车，因此在离泊过程中船舶分为倒车和掉头离泊两个过程，其中掉头离泊的航行过程由船舶自身的回转性能决定，而掉头前的倒车距离则可为后续回旋离泊提供一定的

由图 3、4 可知，船舶运行过程中轨迹线较为平滑，且试验船舶均为双发动机，可以正车、倒车，给离泊操作带来很大的便利性，即便在船首向西情况下解缆离泊，也可通过倒车预留一定掉头安全距离，保证船舶安全掉头离泊，在很大程度上减小安全风险。

2.3 试验结果分析

对于船舶安全性而言，因受自然条件和船舶操纵等内外两方面因素综合影响，具有一定随机性。结合实船试验结果，对本工程船舶操纵安全性分析如下：

对于自然条件影响而言，主要的不利条件为偏西向潮流以及偏东向风浪。结合试验当天的流速变化过程(图 6)，大流速时段已基本覆盖，即试验期间流速相对有代表性，可充分反映船舶在靠离泊过程中的受流偏移情况。与之相比，试验时段中风浪相对较小，船舶在靠离泊过程中受风、浪的影响相对有限。

安全富余。依据本次试验数据，车客渡在回旋离泊前的倒车距离约 80 (试验 A) ~ 160 m (试验 C) 之间，相应与安全线的距离分别为 61.8 m (试验 A) 与 168 m (试验 C)，掉头过程中与安全线距离减少约 120、100 m (受船舶掉头及风、流条件影响)。