



日照-仪征30万吨级原油码头总体布置

潘金霞, 卢海斌, 丁 崑

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 分析日照-仪征30万吨级原油码头工程与总体规划的关系、工程区域的自然条件、与相邻工程的关系等总体布置时考虑的主要因素, 研究了码头轴线、码头布置等总体布置关键技术。研究成果可供大型油码头设计参考。

关键词: 日照-仪征; 原油码头; 总体布置

中图分类号: U 651[†].4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0100-06

General layout of Rizhao-Yizheng 300 000 DWT crude oil wharf

PAN Jin-xia, LU Hai-bin, DING Wei

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: This paper analyzes the main factors of the general layout of Rizhao-Yizheng 300 000 DWT crude oil wharf, including the relationship between the crude oil wharf project and the overall planning, natural conditions of the engineering region, as well as the relationship with the neighboring projects, etc., and researches the key technology including wharf axial line and wharf layout. The research results may serve as reference for the design large oil wharves.

Key words: Rizhao-Yizheng; oil wharf; general layout

随着国民经济的快速发展,我国原油消费也呈现出迅猛增长的态势。日照港是我国沿海的主要港口,是亚欧大陆的桥头堡,区位优势明显,具备建设大型原油码头的基础条件。中国石油化工股份有限公司(简称中石化)已将其作为原油接卸干线港,日照-仪征原油输送管道工程设计输送能力为3 600万t/a,将为沿线石化企业提供原油一程接卸服务。日照-仪征30万吨级原油码头工程作为该原油输送管道工程的配套工程,于2008年开工建设、2010年建成投产。

该工程建设区域为外海开敞水域,自然条件复杂,码头轴线方位、前沿线位置、码头平面布置合理与否将直接关系到建设成本、营运期船舶靠离泊及系泊作业安全与港口服务水平^[1]。

1 总体布置考虑的主要因素

1.1 港口总体规划

本工程可行性研究及设计文件编制期,笔者参与的《日照港总体规划》^[2]尚处于编制初期,本工程的前期研究为总体规划编制起到了较好的支撑作用,规划方案的调整在规避相邻在建工程对本工程的不利影响方面起到了十分重要的作用。

日照港包含石臼港区和岚山港区两个港区(图1),岚山港区是为后方临港工业和腹地经济发展服务的综合性港区,主要承担石油及液体化工品、大宗干散货运输,兼顾其它散、杂货运输,并预留发展集装箱运输功能。岚山港区划分为南、中、北3个作业区,其中的中作业区重点发展原油、成品油、液体化工品等液体散货运输。

收稿日期: 2012-04-09

作者简介: 潘金霞(1980—),女,工程师,从事港口、航道规划设计工作。

本工程位于岚山港区中作业区。



图1 日照港岚山港区规划

1.2 自然条件

1) 水文气象条件。

风: 工程区域常风向为N, 频率9%; 强风向为WSW, 实测最大风速22 m/s, 6级以上大风的频率为12.6%, 全年各向风频率分布相对均匀。

波浪: 工程区域常、强浪向均为E, 频率26.32%。对本港区危害作用最大的风向是NE~SSE。码头前沿设计高水位时50 a一遇设计波要素为E向最大, $H_{1\%}$ 为6.8 m, 波周期为8.9 s; 引堤处设计高水位时50 a一遇 $H_{1\%}$ 为5.9 m, 波周期为8.9 s。

潮流: 工程区域潮流基本为旋转性往复流。根据2004年工程区域实测潮流资料(图2)进行分析, 本工程表层设计流速为1.80 m/s, 流向216°; 垂线平均设计流速为1.70 m/s, 流向220°^[3]。

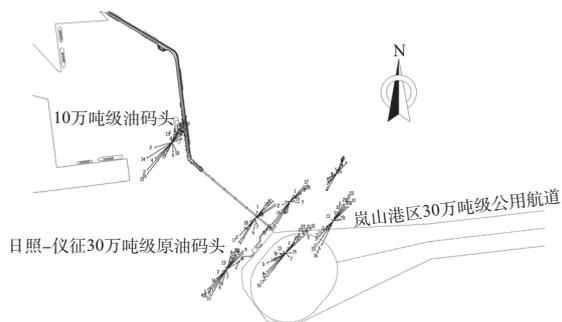


图2 工程区域2004年实测垂线平均流速、流向矢量

水位: 岚山港区潮汐为正规半日潮, 潮差较大, 平均潮差为3.44 m。港区工程设计水位为: 设计高水位5.34 m, 设计低水位0.63 m, 极端高水位6.48 m, 极端低水位-0.55 m。乘潮保证率为90%, 乘潮历时1~4h的乘潮水位分别为3.97 m, 3.72 m, 3.39 m, 3.03 m; 乘潮保证率为70%, 乘潮历时4 h的乘潮水位为3.23 m。

2) 地形地貌及泥沙运动

工程拟建区域水下岸坡较平缓, 沿岸水域近岸底质为砂及黏土。河流和面状水流入海泥沙很有限, 沿岸无大量泥沙过境, 岸线和岸坡稳定, 泥沙淤积甚微。

3) 地质条件

根据地质勘察成果, 工程拟建区域岩面高程在-25~-26 m, 往东北侧500 m范围内岩面高程在-24~-25 m, 覆盖层主要为淤泥、粗砂、黏土等, 强风化岩岩性为大多火山碎屑岩, 局部为花岗片麻岩, 标贯击数>50击, 为良好的基础持力层。总体而言, 工程拟建区域地质条件较简单。

1.3 已建工程

1) 10万吨级油码头。

工程西北侧为已建10万吨级油码头, 10万吨级油码头引堤宽18.5 m。设计充分考虑了港区可持续发展需要, 工程管线可通过其预留的管架与后方罐区相连, 人员及检修车辆可利用其车道通行。

2) 岚山港区30万吨级公用航道工程。

工程东南侧为日照港岚山港区30万吨级公用航道, 航道有效宽度为320 m, 底高程按照满载吃水为21 m的30万t典型船作为设计船型, 底高程为-19.7 m, 航道走向为83°22'~263°22', 能满足满载吃水为21.0 m的船舶在乘潮2 h、乘潮保证率为70%的条件下进港靠泊。本工程到港船舶可利用该航道进出港。

2 总体布置

2.1 码头轴线方位

本工程为大型开敞式码头, 风、浪、流等自然条件对船舶靠离泊作业及泊稳安全影响较大, 码头轴线的选择应遵循尽可能与风、浪、流的主

方向一致、船舶靠离泊作业方便、船舶在泊时系缆力和挤靠力小等原则,各因素分析如下:

1) 风、浪、流条件。

本工程海域全年各向风频率分布相对均匀。风对码头作业条件的影响与码头轴线方位的选定基本无关。

根据工程海域分波向资料统计,本工程海域 $H_{4\%} \geq 1.5$ m波高频率为2.49%,主要集中在NE~E向,NE,E,ENE,E向1.5 m以上波高频率分别为0.73%,0.93%,0.49%。基于波浪资料分析,码头轴线方位应选择在NE~E向范围内。

根据工程区域实测潮流资料分析,所在海域潮流呈明显的往复流特征,主流向为220°。从流况资料分析,码头轴线方位应为40°~220°。

2) 船舶靠泊作业过程

本工程为原油接卸码头,大型油轮重载进港,将选择在风力 ≤ 6 级、波高 ≤ 2 m的条件下进港靠泊^[4],靠泊作业过程中,船舶承受的水流力较大,需在拖轮协助下以基本平行于码头轴线的状态缓慢靠上护舷。稳定可控的靠岸速度取决于水流流速和流向,是保证船舶靠泊作业安全的关键。

根据船舶操纵模拟试验^[5]的研究结论分析:船舶在航道航行时间约1.5 h,靠泊时间约1.5 h。岚山港区公用航道仅能满足满载吃水为21.0 m的船舶乘潮2 h,乘潮保证率为70%的条件下进港靠泊。本工程重载进港船舶需乘潮进港,按进港船舶在高潮前1 h进港考虑,则高潮后0.5 h到达港池与航道分界处,高潮后2 h完成靠泊作业。根据工程区域24 h实测流速、流向资料及数学模型试验成果^[6]进行分析,高潮后0.5 h时,调头水域流速为0.2 m/s,流向为150°;高潮后1 h时,调头水域流速为0.18 m/s,流向为88°;高潮后1.5 h时,码头前沿流速为0.38 m/s,流向为40°。码头轴线选为40°~220°,船舶进港靠泊时,在调头水域及码头前沿的水流流向均为开流向,且流速值较小,有利于拖轮控制船舶靠泊速度,对保障船舶靠泊安全有利。

船舶操纵模拟试验中船舶靠离泊操纵模拟试验成功率为100%,说明码头按该轴线布置,在拖轮的协助下,船舶靠离泊作业安全能得到保障。

3) 船舶系泊作业过程。

船舶系泊作业将经历全潮过程各时段,如果码头轴线和涨、落急潮流主流向存在夹角,船舶装卸作业过程中涨、落急最大流速横向分量将增大,造成船舶系缆力的增大,所以码头轴线方位的选择对缆绳受力状态的影响很大。从减小缆绳受力、保证船舶系泊安全的角度考虑,码头轴线应顺涨落潮主流向布置,即为40°~220°。船舶泊稳物理模型试验研究的分析结果表明,码头按该轴线布置,船舶的运动量、缆绳力及其对码头的撞击能量均能满足要求。

综合考虑港区自然条件、船舶靠泊作业与系泊作业安全等因素,确定本工程码头轴线方位为40°~220°。

2.2 码头前沿线位置

码头前沿线位置应结合疏浚、炸礁工程量以及引桥长度等影响工程造价和营运费用的主要因素综合确定。

工程拟建区域水下地形坡度平缓,-20 m等深线以内坡度为1:2 000~1:2 500,-10 m等深线距岸约1.5~9 km,大体呈NE~SW走向;-20 m等深线距岸约21~23 km,不顺直且较不规则,大体为NNE~SSW走向。

近岸水域地质基岩埋深总体由岸向海(ESE向)渐深,由刘家海屋向N~SE向呈放射状渐深。水下地形和基岩等值线见图3。

因工程海域水下地形平缓,向海侧移动码头前沿线不能有效减少疏浚工程量,反而将增加引桥长度,对控制工程造价不利。本工程码头结

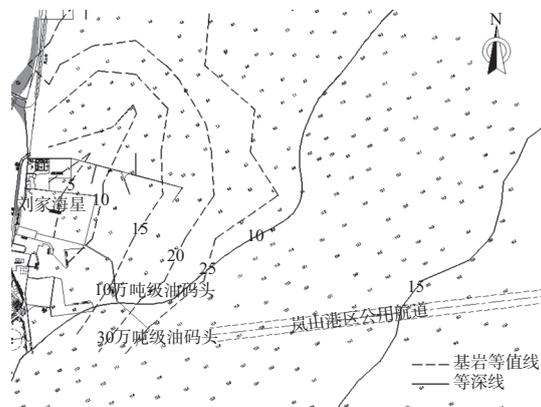


图3 水下地形和基岩等值线(单位:m)

构采用重力墩式,选择基岩埋深较深的位置将增加码头基床造价,而选择基岩埋深较浅处将增加炸礁工程量,将码头前沿线布置在合适的基岩高程处将能有效控制码头建设成本。公用航道端部与-10 m等深线的垂直距离仅约1.2 km,码头前沿线的选定需充分考虑港池及其连接水域的布置需要。综合考虑设计船型尺度、码头结构形式、港池及连接水域布置需要、基岩埋深等因素,确定码头前沿线布置于基岩埋深-25~-26 m处,天然水深平均约为-11 m。

2.3 码头布置码头主尺度

1) 码头长度及系缆墩布置。

大型开敞式油码头长度主要由船舶系缆要求确定。

根据现行规范^[7]公式计算, $L_b = (1.4 \sim 1.5)L$, 计

算泊位全长 $L_b = 467.6 \sim 501$ m。码头长度取501 m。

码头系缆墩的布置与缆绳长度、系缆角度及缆绳受力紧密相关。本工程码头呈蝶形布置,共采用6个系缆墩,各系缆墩布置见图4。1#, 6#系缆墩边距为501 m,为15万吨级以上船舶的艏艉缆墩;2#, 5#系缆墩边距为372 m,为8万吨级船舶的艏艉缆墩和15万吨级以上船舶的辅助艏艉缆墩;3#, 4#系缆墩边距为248 m,为横缆墩;靠船墩兼作倒缆墩。本工程设计及兼靠船型缆绳长度及系缆角度见表1。船舶操纵模拟试验^[8]报告及OPTIMOOR系缆力计算软件的结果表明:缆绳中最大拉力出现在横缆上,倒缆的缆绳拉力也较大,艏艉缆的缆绳拉力较小;不同载量、不同波高级别和不同波浪入射方向等各工况条件下各个缆绳的张力分配比较合理。

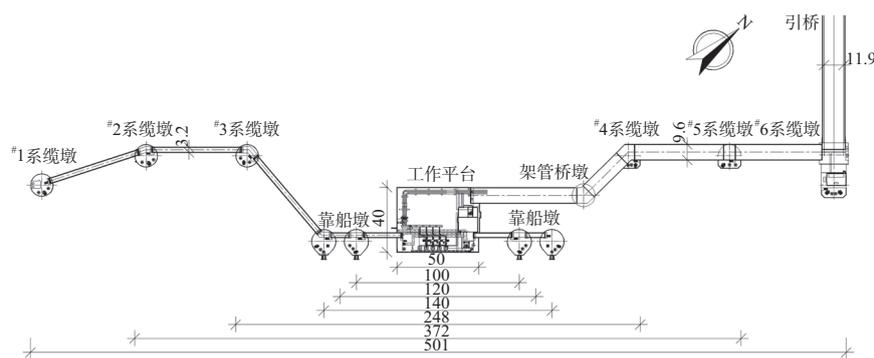


图4 码头平面布置

表1 设计及兼靠船型缆绳长度及系缆角度

船舶吨级/万t	缆绳方位	水平角/(°)	垂直角/(°)	缆绳长度/m
30	艏艉缆	44~55	<7.4	82~115
	横缆	74~82	<9.2	70~78
	倒缆	15~20	<19.8	30~39
15	艏艉缆	31~61	<7.5	77~120
	横缆	73~83	<9.6	60~75
	倒缆	13~20.5	<15.3	38~45
8	艏艉缆	45~55	<9.2	88~90
	横缆	70~88	<13.3	61~68
	倒缆	14~22	<25.3	33~39

模型实验及软件计算的结论均显示,艏艉缆的缆绳拉力较小,而艏艉缆实际是横缆的一部分,适当缩短码头长度将增加艏艉缆角度,从而承担更大的横向力。鉴于现行规范的规定,实际实施时码头长度仍取为501 m。

2) 靠船墩布置。

靠船墩:本工程停靠船型差别较大,考虑受

风、浪、流的作用及拖轮操作、输油臂位置不居于船舶中间等因素影响,若仅设置2个靠船墩,靠泊时较难保证不同吨级船舶的船舷直线段都靠到护舷上。因此,从方便运营与减小风险等角度出发,设计4个靠船墩:内侧靠船墩的布置以满足8万吨级船舶靠泊要求为原则,中心距为100 m,为8万吨级船舶船长的41%;外侧靠船墩中心间距为140 m,当15万~30万吨级船舶靠泊作业时,内外侧靠船墩同时受力,内外侧靠船墩中心距为120 m,约为15万吨级船舶船长的44%,30万吨级船舶船长的36%。为避免船舶靠泊时对工作平台造成影响,靠船墩前沿线设置于工作平台前沿线海侧2 m。

3) 工作平台。

工作平台:平面尺寸为50 m×40 m,其上布置输油臂、输油管线、综合楼、登船梯、消防炮等。

4) 码头面高程。

现行开敞式码头规范规定码头面高程:

$$E = H_{WL} + \eta_0 + h + \Delta \quad (1)$$

按上式计算, 码头面高程应为12.04~13.04 m。

根据规范条文说明, 上述规定主要考虑码头面上水和上部结构不承受波浪力的要求确定码头高程。本工程极端高水位与设计高水位相差1.14 m, 上述两水位时 $H_{1\%}$ 波高值一致。当以极端高水位校核码头面高程时, 波峰面以上至上部结构底面的富裕高度 Δ 取0, 则码头面高程应为13.18~14.18 m。

出于对码头结构安全和使用方便等因素的综合考虑, 本工程进行了波浪物理模型实验。试验结果表明, 当工作平台高程定为13.0 m时, 在正常风浪作用下基本不上水。工作平台虽承受一定的波浪力作用, 但浮托力小于梁板自重, 可满足自身稳定及结构安全的需要。系缆墩和靠船墩为重力墩, 无上部梁板结构, 综合考虑缆绳的垂直角度等因素, 顶高程取10.5 m, 各系缆墩和靠船墩之间桥面高度仍为13.0 m, 通过台阶与系缆墩和靠船墩平台联系。

5) 码头前沿水深。

按现行开敞式码头规范公式计算码头前沿水深见表2。

T	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	L_{WL}	底高程
22.5	0.6	1	0.15	0.4	0.63	-24

按照现行规范计算的码头前沿水深为24.65 m, 为设计船型满载吃水的1.096倍。船舶泊稳物理模型试验结论显示: 在波高2.0 m, 周期8 s的情况下, 船舶运动量分析各工况中, 波浪产生的船舶竖向运动量最大为0.9 m。由于设计船型为超大型油轮, 船舶底部富裕深度的取值将显著影响水流作用力, 即富裕水深越大时, 水流所承受的作用力越小。结合工程区域基岩埋深、工程造价以及作业安全等诸多因素, 码头前沿设计水深取25.0 m, 为设计船型满载吃水的1.112倍, 码头前沿设计底高程为-24.4 m。

6) 港池尺度。

工程水域潮流流向与码头轴线走向基本一致, 根据规范^[4]要求, 宜将回旋水域布置成椭圆

形, 椭圆长轴为2.5~3倍设计船长, 短轴取1.5~2倍设计船长。本工程回旋水域长轴为850 m, 为2.54倍设计船长; 短轴为670 m, 为2.01倍设计船长。根据船舶操纵试验, 该回旋水域能满足30万吨级油船在拖轮协作下调头要求。

回旋水域底高程应综合考虑工程投资、航道条件等因素确定。岚山港区公用航道设计船型为满载吃水21.0 m的30万t典型船, 设计水位为3.99 m。本工程回旋水域近期按满载吃水21.0 m的30万t典型船进港靠泊要求考虑。本工程港池设计水位取乘潮4 h且乘潮保证率70%的水位为3.23 m, 可有效减少疏浚工程费用。根据规范^[4], 确定本工程回旋水域底高程为-20.4 m, 远期随着船舶大型化发展需要, 逐步浚深。

7) 引桥宽度。

引桥: 码头和后方陆域间通过引桥和引堤相连, 引桥垂直于码头布置; 总体规划中本工程东北侧规划有大型原油码头, 故引桥与码头呈反“L”形布置, 引桥桥面宽度考虑本工程及相邻码头管线布置及检修车辆通行需要, 桥面净宽定为11.9 m。

3 相邻在建工程的不利影响及规划方案调整

3.1 相邻工程的影响

本项目的建设贯穿于日照港总体规划的编制期。规划编制期是日照港口发展较快的时期, 也是规划滞后最严重的时期。部分缺少行政审批、缺乏科学论证的项目肆意建设, 无序的建设改变了工程拟建区域的流态。根据2009年测流资料及潮流数学模型实验成果, 测流状态下工程区域出现了明显的横流: 码头前沿涨急最大流速为1.32 m/s, 流向为274°, 最大横向流速分量为1.07 m/s; 落急最大流速为0.96 m/s, 流向为65°, 最大横向流速分量为0.41 m/s; 在建本工程码头前沿横向流速分量大于0.5 m/s的时间大于3 h, 船舶靠离泊作业时拖轮协作较困难。2004年和2009年实测流况对比见图5。

3.2 规划方案调整

在充分考虑了本工程作业安全的前提下, 《日照港总体规划》对于岚山港区的规划及实施方案进行了科学修正: 总体规划在本工程东北侧

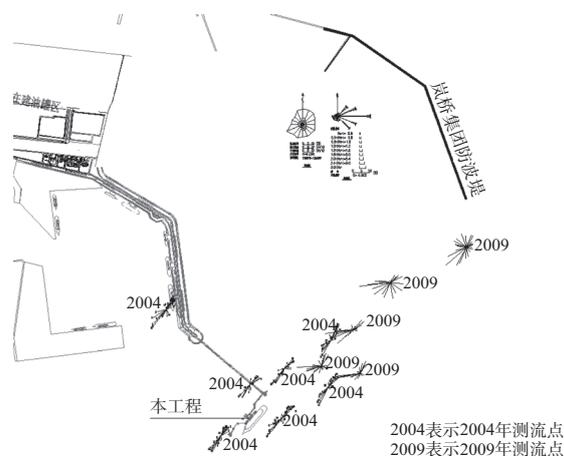


图5 2004年和2009年实测流况对比

和西南侧分别布置了突堤和防波堤,防波堤外侧连线与本工程位于同一直线上;总体规划的实施方案考虑先期建设南作业区东侧、南侧防波堤以及中作业区东南侧防波堤,以期在一定程度上改善30万吨级原油码头前沿流态。

模型试验结论表明:在南作业区东侧及南侧防波堤建成后,本工程码头前沿流态得到了较大改观,但仍有不利流态出现,泊位区涨潮横向流速分量接近0.6 m/s,横向流速分量达0.5 m/s的作用时间约1 h;中作业区东南侧防波堤建成后,工程区域的流态将得到进一步改善;总体规划实施后,本工程泊位区和预留泊位区水流条件得到明显改善,流态良好,最大横向流速分量均在0.2 m/s以内;涨急期,中作业区口门附近无回流,30万吨级原油码头区涨潮流较平顺;落潮期,中作业区口门附近也无回流,潮流与30万吨级原油码头轴向有一定

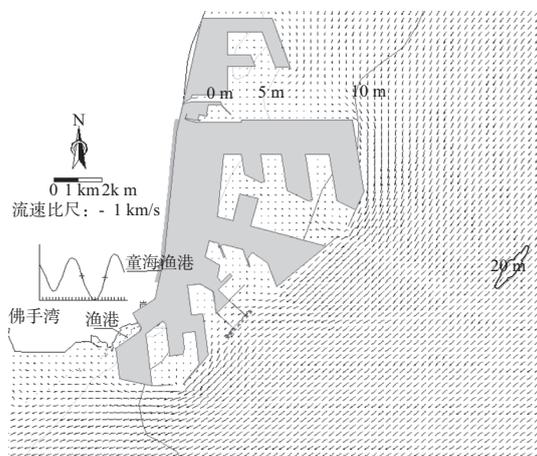


图6 岚山港区规划方案涨落急流态

夹角,但潮流较弱,横向流速分量小于0.2 m/s。岚山港区规划方案涨落急流态见图6。

4 结论

本文以日照-仪征30万吨级原油码头为例,系统分析了影响其总体布置的主要因素,特别就风、浪、流等自然条件与码头轴线方位的相互关系、船舶靠泊及系泊作业安全等大型开敞式码头总体布置的关键技术问题进行了深入剖析。同时结合总体规划的编制进程,提出了应对工程建设过程异常情况的修正方案,为又好又快地建成日照-仪征30万吨级原油码头工程创造了条件。

本工程以及南作业区东侧及南侧防波堤已于2010年建成。码头建成投产1 a多以来,船舶靠离泊作业方便、系泊安全,各项环节运作正常。

该码头作为日照-仪征原油输送管道工程的关键节点,为中石化沿江地区炼厂及沿线的石化企业提供了原油一程接卸服务,大幅度减少了石化企业的原油运输成本,获得了良好的经济与社会效益。

参考文献:

- [1] 洪承礼. 港口规划与布置[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司.日照港总体规划[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2008.
- [3] 中交第一航务工程勘察设计院.日照-仪征原油管道及配套工程水文泥沙测验港口水文报告[R].天津:中交第一航务工程勘察设计院,2005.
- [4] JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S].
- [5] 大连海事大学.日照-仪征原油管道及配套工程航道工程船舶操纵模拟试验报告[R].大连:大连海事大学,2005.
- [6] 南京水利科学研究院.日照-仪征原油管道及配套工程潮流数学模型和泥沙淤积分析[R].南京:南京水利科学研究院,2005.
- [7] JTJ 295—2000 开敞式码头设计与施工技术规范[S].
- [8] 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室.日照-仪征原油管道及配套工程船舶泊稳物理模型试验研究报告[R].大连:大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室,2005.

(本文编辑 武亚庆)