



大型集装箱码头陆域布局优化

刘二利¹, 冯飞翔², 徐文彪², 陈程²

(1. 宁波大榭招商国际码头有限公司, 浙江 宁波 315812;

2. 宁波中交水运设计研究有限公司, 浙江 宁波 315040)

摘要:为解决宁波大榭招商国际集装箱码头现有陆域布局散乱、土地利用不充分、堆场容量不足的问题,对码头陆域布局进行优化研究,以期集约化利用土地,增强码头的竞争力和发展潜力。基于调研和分析,梳理当前陆域布局中存在的主要问题;对泊位通过能力和堆场容量的计算分析,合理确定码头总体的运量规模,并以此指导陆域布局调整和优化工作。从土地利用和堆场容量两个方面进行评价,优化工作取得良好的效果。研究提出一种大型集装箱码头陆域布局优化的可行思路,可为类似项目研究提供借鉴。

关键词: 集装箱码头; 陆域布局; 泊位通过能力; 堆场容量; 土地利用

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0063-07

Land layout optimization of container terminal

LIU Er-li¹, FENG Fei-xiang², XU Wen-biao², CHEN Cheng²

(1. Ningbo Daxie China Merchants International Container Terminals, Ningbo 315812, China;

2. Ningbo China Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315040, China)

Abstract: To solve the problems of scattered existing land area layout, inadequate land use, and insufficient yard capacity of Ningbo Daxie CMICT, the study was conducted to optimize its land area layout to intensify land use and enhance the competitiveness and development potential of the terminal. Based on the research and analysis, we sort out the main problems in the current land area layout. Through the calculation and analysis of berth passing capacity and yard capacity, we reasonably determine the overall capacity scale of the terminal, which guides the adjustment and optimization of the land area layout. The evaluation of the optimization work conducted in terms of both land use and yard capacity reveals that good results are achieved. The study proposes a feasible idea for optimizing the land area layout of large container terminals, which can provide a reference for similar project studies.

Keywords: container terminal; land layout; berth capacity; yard capacity; land utilization

伴随商品贸易的持续繁荣,我国港口集装箱吞吐量呈稳步上升的趋势,由2010年的1.45亿TEU^[1]增长至2019年的2.61亿TEU^[2],年均增长率达6.7%。

经济新常态下,随着供给侧改革、绿色发展等新发展战略的提出,优质岸线资源愈加紧缺,

向存量要效益成为各地港口建设的新思路^[3]。而对于建成投产时间较久的集装箱码头来说,码头实际运量往往远超设计规模,当初的设计布局难以适应新的发展需求,后续的修补建设也普遍存在缺乏统筹规划的问题,导致码头陆域整体布局不尽合理。

收稿日期: 2020-07-25

作者简介: 刘二利(1978—),男,硕士,工程师,从事港口建设项目管理工作。

针对集装箱码头陆域布局，专家学者们进行了一系列研究：周勇^[4]基于不确定性分析理论，构建、验证了外贸集装箱码头陆域布局优化模型；张婧卿^[5]研究了大型集装箱码头堆场和道路设施的布局，提出堆场道路指标的推荐值和堆场布局设计的改善建议；陈武争^[6]则采用数值计算、估算、统计相结合的方法，研究了集装箱港区陆域土地集约化利用问题。

笔者以我国东部沿海宁波大榭招商国际集装箱码头(简称“招商码头”)的陆域布局优化研究为

例，探讨新常态下大型集装箱码头陆域布局优化的思路，旨在实现码头土地利用的集约化，以增强码头发展潜力。

1 工程概况

招商码头地处我国东部沿海，已建成4个7万~20万吨级集装箱泊位，岸线总长度1.5 km，近期规划再续建一个泊位，建成后码头岸线总长度1.8 km，2019年码头完成集装箱吞吐量329万TEU。码头总体布局见图1。

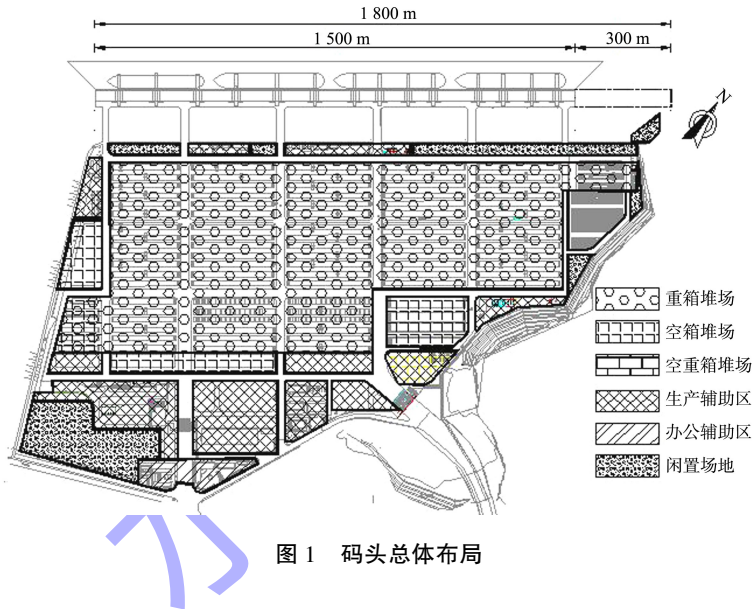


图1 码头总体布局

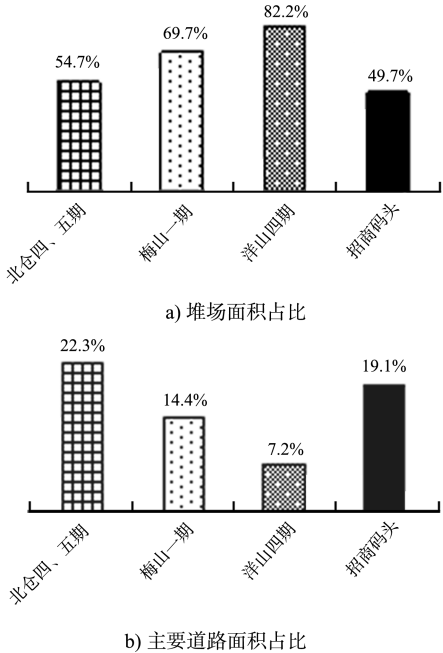
2 陆域现状评价

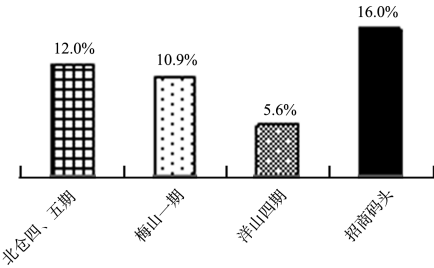
2.1 土地利用情况

招商码头陆域功能区当前土地利用情况见表1，与其他大型集装箱码头的横向对比见图2。对比可见，招商码头堆场面积占比明显偏低，闲置场地占比则明显偏高。

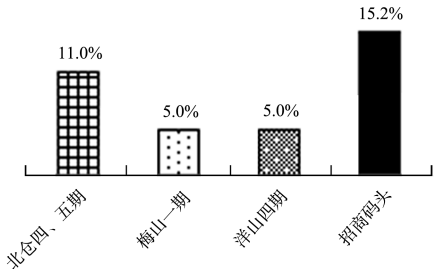
表1 码头陆域功能区土地利用情况

土地用途	占地面积/万 m ²	占比/%
堆场	79.7	49.7
主要道路	30.7	19.1
辅助场地	25.7	16.0
闲置场地	24.5	15.2
总计	160.6	100.0





c) 辅助场地面积占比



d) 闲置场地面积占比

图 2 土地利用情况横向对比

2.2 堆场容量

1)堆场年周转能力。堆场年周转能力根据规范公式^[7]进行推算，所用数据均来自历年实际统计数据，推算结果见表 2，其中 2019 年码头入场堆存箱量为码头吞吐量剔除销箱倒量后的数值。

表 2 堆场年周转能力

箱种	目前堆场的 年周转能力/万 TEU	2019 年码头 入场堆存箱量/万 TEU
普通重箱	296.8	189.4
空箱	92.6	115.6
冷藏箱	3.2	3.2
危险品箱	1.4	1.7
合计	394.0	310.0

2)堆场利用率。堆场利用率反映生产过程中堆场容量的利用情况，同样根据规范公式推算，结果见表 3。

表 3 堆场容量利用情况

箱种	堆场容量/%		规范推荐值/%
	2019 年	2018 年	
普通重箱	54.9	65.0	55~70
空箱	119.8	118.1	70~80
冷藏箱	115.3	44.9	55~70
危险品箱	79.9	67.2	-

2.3 码头陆域现状问题

1)功能布局不合理。集中体现在辅建功能布置过于分散，不仅占用堆场土地，还影响辅助作业的效率。

2)土地利用不充分。堆场占比偏低，非生产场地占比偏高，土地闲置率高。

3)堆场容量总体不足。尽管当前容量尚有一定富裕，但如按 5%的年均增长率考虑，即使不细分箱种，堆场现有容量也仅能支撑港区未来 4~5 年的发展。

4)堆场容量利用不均衡。重箱容量相对富裕，空箱容量尤其紧缺。

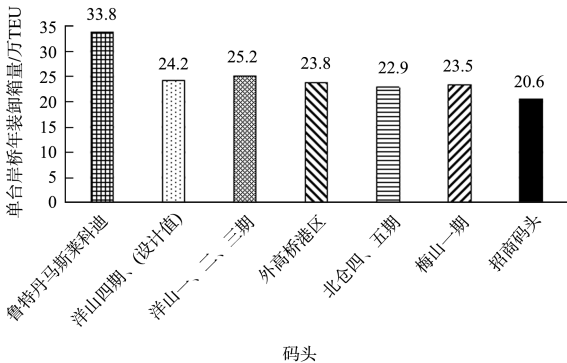
3 码头规模的确定

3.1 年运量

港口作业系统能力匹配关系一般应满足以下规则： $P_{信息} > P_{集疏} > P_{堆场} > P_{泊位}$ ^[8]，应按泊位通过能力确定年运量规模。

泊位通过能力一般应用规范公式计算，但往往存在计算结果与实际作业数据不符的问题^[9]。本文通过 2 种测算方法进行交叉验证的方式，尽量确保泊位通过能力测算的准确性和适用性。

1)主要指标对比法。目前，衡量大型集装箱码头泊位通过能力的主要指标有单台岸桥年装卸箱量和百米岸线年装卸箱量 2 项。国内外大型集装箱码头的相关指标见图 3。



a) 单台岸桥年装卸箱量

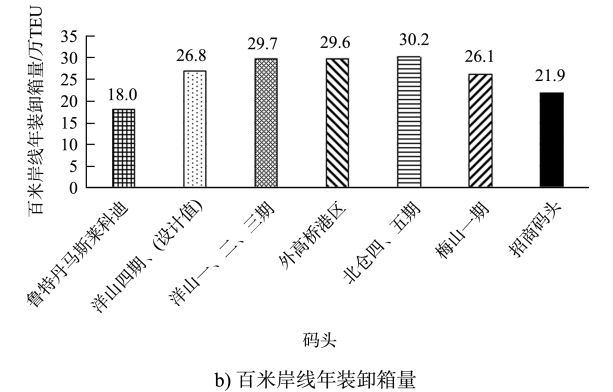


图3 国内外大型集装箱码头主要指标对比

考虑到鹿特丹马斯莱可迪和洋山四期均为全自动化码头，洋山一、二、三期、外高桥港区和北仑四、五期则均为岸线资源不足情况下的超负荷作业，兼顾前瞻性和作业健康度，招商码头(按21台岸桥、1 800 m岸线考虑)的主要运量指标预测见表4。

表4 招商码头主要指标预测		
项目	单台岸桥年装卸箱量/万 TEU	百米岸线年装卸箱量/万 TEU
指标值	24	28
对应的泊位通过能力	504	504

表5 泊位通过能力测算							
泊位吨级/万 DWT	T_y /d	A_p /%	Q /TEU	n /台	$p_1/(自然箱 \cdot h^{-1})$	k_1	k_2 /%
7	335	70	1 300	4	35	1.75	95
10	335	70	2 300	4	35	1.75	95
15	335	70	5 500	5	35	1.75	92
泊位吨级/万 DWT	k_3 /%	k_4	$p/(TEU \cdot h^{-1})$	t_g /h	t_f /h	t_d /h	$P_t/(万 TEU \cdot a^{-1})$
7	0	1.05	244.4	24	3.0	24	87.9
10	0	1.05	244.4	24	3.5	24	100.3
15	0	1.05	295.8	24	4.0	24	130.0

据测算，1.8 km岸线按3个7万吨级+1个10万吨级+1个15万吨级的船型组合，最大通过能力为501万TEU。

通过主要指标法和公式计算法的交叉验证，确定码头运量规模为500万TEU。

考虑到运量规模的增长是一个长期的过程，为了使优化调整更具可实施性，本研究根据运量规模的实现分为近期和远期2个阶段，分别以2023年和2030年为节点，见表6。

表6 码头年运量的分期安排			
阶段	年运量/万 TEU	年均增长率/%	备注
近期(2023年)	380	5	新建泊位尚未投产
远期(2030年)	500	4	新建泊位投产

2)公式计算法。集装箱码头的泊位通过能力计算公式：

$$P_t = \frac{T_y A_p}{\frac{Q}{p t_g} + \frac{t_f}{t_d}} Q \tag{1}$$

$$p = n p_1 k_1 k_2 (1 - k_3) k_4 \tag{2}$$

式中： P_t 为年通过能力； T_y 为码头年营运天数； A_p 为泊位有效利用率； Q 为集装箱船单船装卸箱量； p 为设计船时效率； t_g 为昼夜装卸作业时间； t_f 为船舶装卸辅助作业及靠离泊时间之和； t_d 为昼夜时间； n 为单泊位岸桥配置数量； p_1 为岸桥单机台时效率； k_1 为标准箱折算系数； k_2 为岸桥同时作业率； k_3 为装卸船作业倒箱率； k_4 为岸桥船时效率提高系数。

泊位通过能力测算结果见表5。为克服主观性问题^[9]，部分参数数值依据历年实际统计数据确定，符合码头实际。

3.2 堆场

3.2.1 地面箱位数

堆场地面箱位计算公式：

$$N_s = \frac{\mu Q t_{dc} K_{BK}}{T_{YK} A_s N_l} \tag{3}$$

式中： N_s 为所需地面箱位数； μ 为各类箱种运量占比； Q 为年入场堆存总箱量； t_{dc} 为到港集装箱在港平均堆存期； K_{BK} 堆场作业不平衡系数； T_{YK} 为堆场年工作天数； A_s 为堆场容量利用率； N_l 为最大堆箱层数。其中 μ 、 t_{dc} 、 K_{BK} 等参数与码头所处区位、航线调拨、作业能力、业务类型等多种因素有关，不同港区情况不同，同一港区的不同

年份数据也不尽相同，因此其取值的确定较为困难。

本文以堆场作业不平衡系数 K_{BK} 为例，说明取值确定的原则和思路：

- 1)以本港区情况为主，参考同港域其他码头的作业情况；
- 2)以近 3 年作业情况为主，结合未来发展趋势。

各码头近 3 年堆场作业不平衡系数见表 7。

表 7 各码头近 3 年堆场作业不平衡系数					
码头	年份	普通重箱	空箱	冷藏箱	危险品箱
招商码头	2017	1.60	1.43	2.57	1.83
	2018	1.30	1.83	1.63	1.78
	2019	1.20	1.82	4.03	2.20
梅山一期	2017	1.16	1.31	1.60	1.19
	2018	1.20	1.41	1.33	1.10
	2019	1.15	1.16	1.41	1.19
	2017	1.13	1.20	1.06	1.05
北仑四、五期	2018	1.12	1.11	1.07	1.04
	2019	1.15	1.14	1.06	1.03

从表 7 可知，各箱种不平衡系数由小至大的排列顺序为普通重箱、空箱、危险品箱和冷藏箱；招商码头各类箱种的不平衡系数均相对偏大，这与码头自身条件有关，短时间内不会有大幅变动^[10]。

另外，根据作业不平衡系数的定义，不平衡系数与年运量呈负相关。因基数的扩大，即使考虑航线和业务等因素的变化，这些变化的扰动造成的不平衡性亦必然减少。这与包括招商码头在内的同港域多个码头的实际作业数据统计情况相符。因此，随着年作业箱量增长至 500 万 TEU，招商码头的堆场作业不平衡系数总体应呈下降趋势。

基于以上分析，招商码头的堆场作业不平衡系数预测见表 8。其他参数取值的确定过程与此类似，并以此为基础进行堆场容量的计算，结果见表 9。

表 8 堆场作业不平衡系数预测				
阶段	普通重箱	空箱	冷藏箱	危险品箱
近期	1.30	1.80	2.00	2.50
远期	1.20	1.50	1.80	2.20

表 9 各类箱种计算所需地面箱位数				
阶段	普通重箱	空箱	冷藏箱	危险品箱
近期	13 129	9 895	388	198
远期	15 946	10 849	449	235

3.2.2 空重箱通用堆场

前述按不同箱种分别计算箱位数有一个前提假设：不同箱种的堆存作业高峰同时到达。实际上，两者峰值是错开的。根据历年统计数据，招商码头普通重箱和空箱月度作业峰值的和与月度作业量和的峰值情况见表 10。

表 10 普通重箱和空箱历史月度作业峰值统计			
年份	峰值的和/TEU	和的峰值/TEU	和的峰值:峰值的和
2017	55 370	48 003	0.87
2018	67 439	54 371	0.81
2019	64 733	51 674	0.80

注：峰值的和为普通重箱、空箱各自月作业峰值相加；和的峰值为单月普通重箱、空箱作业之和的最大值。

根据表 10 可知，如果混堆，堆场作业峰值最大可减少约 20%。为此，本文提出设置部分空重箱通用堆场，以进一步降低堆场作业不平衡性，增强陆域堆场对未来业务发展的适应性。

4 布局调整优化

4.1 总体布局

总体布局的思路结合前文梳理问题、码头现状实际、改造工期、经济性等因素，按照堆场-生产辅建-办公辅建的优先顺序针对性地调整现有布局。

4.1.1 近期布局

- 近期布局见图 5，主要调整如下。
- 1)开发大堤后方区①、山体边缘区②，集中布置为停车场、吊具堆场、临时空箱堆场、候工楼等生产辅建区，腾出场地让位于堆存功能。
- 2)压缩原有查验场地③，改为空箱堆场；开发预留场地④作为临时空箱堆场；拆除原场桥维修场地⑤作为重箱堆场，进一步扩大堆场容量。
- 3)将原有部分空箱、重箱堆场⑥改造为空重箱堆场，以应对堆场作业的不平衡性。

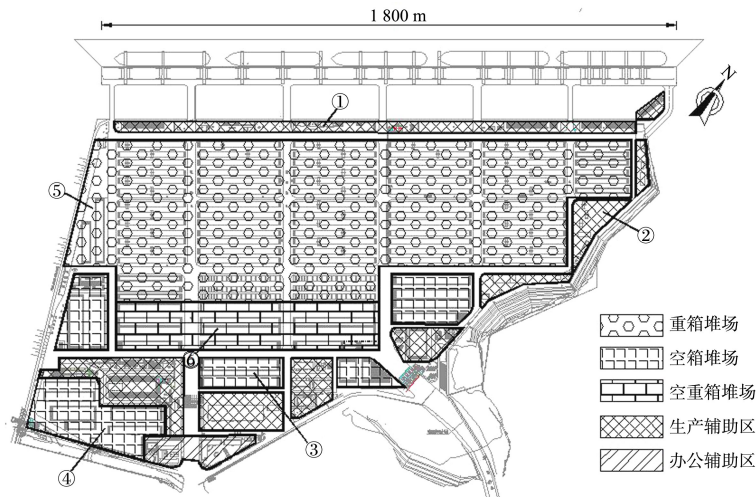


图 5 近期总体布局

4.1.2 远期布局

远期布局见图 6，主要调整如下。

1)将原分散于两处的查验场地集中布置于①区，整合查验功能，提升查验容量和效率，满足远期查验量大幅增长的需求。

2)将原查验场地、流机维修区②整体改造为空箱堆场，进一步实现堆场的集中和连片布置，提升堆场容量。

3)通过改造和扩建，整合原办公辅建区③，提升办公效率。

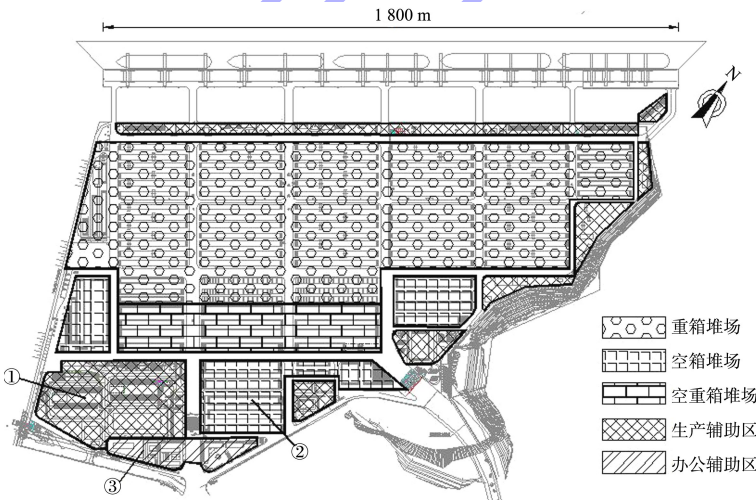


图 6 远期总体布局

4.2 优化效果评价

4.2.1 土地利用

堆场面积占比明显提升，道路、辅建、闲置场地的面积占比则有不同程度的下降，见表 11。优化后，码头陆域土地的布局更为合理紧凑，总体土地利用率由 84.8% 提升至 89.8%，且堆存功能的主体作用更加突出。

表 11 功能区面积占比变化

功能区	优化前/%	优化后/%	变化值/%
堆场	49.7	55.8	+6.1
主要道路	19.1	18.9	-0.2
辅助场地	16.0	15.1	-0.9
闲置场地	15.2	10.2	-5.0

注：“+”表示提高；“-”表示降低。

4.2.2 堆场容量

根据前文分析计算, 适量减少普通重箱箱位, 大幅增加空箱箱位、适量增加冷藏箱和危险品箱箱位, 见表 12。码头堆场的年周转能力也由优化前的 394 万 TEU 增长至 518 万 TEU, 增长约 32%, 为码头未来的发展提供了保障。

表 12 堆场容量变化				
箱种	优化前/TEU	优化后/TEU	变化值/TEU	变化率/%
普通重箱	16 860	16 206	-654	-3. 9
空箱	6 988	11 855	+4 867	+69. 6
冷藏箱	354	637	+283	+79. 9
危险品箱	174	348	+174	+100. 0

注: “+” 表示增加; “-” 表示减少。

评价结果表明, 本次的优化调整总体上实现了集约化利用陆域土地、增强码头发展潜力的既定目标。

5 结语

1) 在充分调研和细致分析的基础上, 以问题为导向, 以计算为依据, 科学指导码头陆域布局调整优化工作, 增强了规范性、统筹性和计划性, 取得了良好的优化效果。

2) 综合考虑码头现状、改造工期及费用等多因素, 将布局调整工作整体上分为近期和远期2 个阶段, 增强了优化方案落地的可行性。

3) 在确定计算参数取值的过程中, 对参数的历史表现和未来趋势进行分析, 提升了取值的合理性、准确性和适用性。

4) 在合理设置各类箱种箱位数量的基础上,

提出设置空重箱通用堆场的措施, 可进一步应对集装箱堆场作业的不平衡性。

5) 本文的研究对新建集装箱码头的建设具有启示意义: 在码头规划设计阶段, 应具有前瞻性, 在陆域功能布局方面为码头未来发展考虑充分的预留, 尽量避免后期的大范围调整优化。

参考文献:

[1] 中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京: 中国统计出版社, 2011.

[2] 中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京: 中国统计出版社, 2020.

[3] 杨靛, 徐进.对在大保护前提下做“优”港口规划的思考[J].综合运输, 2020, 42(6) : 98-100.

[4] 周勇.考虑不确定因素的外贸集装箱码头陆域布局优化研究[D].大连: 大连理工大学, 2017.

[5] 张婧卿.大型集装箱码头堆场道路布局模式[J].港口科技, 2020(7) : 14-19.

[6] 陈武争.集装箱港区土地集约利用[J].水运工程, 2019(1) : 60-66.

[7] 中交水运规划设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S].北京: 人民交通出版社, 2013.

[8] 宋海良, 吴澎, 邓筱鹏, 等.外高桥现代集装箱港区规划与设计[J].水运工程, 2005(5) : 21-32.

[9] 范厚明, 董国松, 谈超凤, 等.中韩集装箱码头泊位通过能力计算方法比较分析[J].中国港湾建设.2009(3) : 5-9.

[10] 彭传圣.大型港口集装箱吞吐量的不平衡性[J].集装箱化, 2010, 21(1) : 14-17.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 43 页)

参考文献:

[1] 高飞, 申程.FSRU 市场发展现状及趋势分析[J].中国船检, 2017(12) : 62-65, 101.

[2] 黄河, 陈谦.缅甸 LNG 码头船舶并靠和双侧靠泊动态系泊分析[J].水运工程, 2020(5) : 82-85, 92.

[3] 孔友南, 廖振华, 程培军, 等.浮式 LNG 码头双船系泊布置优化设计[J].水运工程, 2017(9) : 88-93.

[4] 罗天一, 王烽, 谷文强.LNG-FSRU 双船并靠码头总平面设计方法研究[J].港工技术, 2019, 56(3) : 24-27.

[5] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S].北京: 人民交通出版社, 2014.

[6] British Standards Institution.Maritime works-part 4: code of practice for design of fendering and mooring systems: BS 6349-4: 2014 [S].London: BSI, 2014.

[7] Oil Companies International Marine Forum. Mooring equipment guidelines [M].3rd ed. Bermuda: OCIMF, 2008.

(本文编辑 王璁)