

港口堆场规模与集装箱吞吐量关系研究 ——以北仑港为例

周溪召, 杭佳宇

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要:针对目前尚不完善的集装箱堆场规划问题,讨论了港口堆场规模与集装箱吞吐量的关系,按堆场类型,分别研究了前方堆场规模、后方堆场规模与集装箱吞吐量的关系,同时考虑了堆场的工作时间、集装箱堆箱层数以及各种不平衡系数对集装箱堆场规模的影响,给出了前后方堆场规模与吞吐量等因素的关系式,对目前港口堆场规划具有一定参考意义。以北仑港为例,首先建立数学模型得出了目前北仑港各港区的堆场需求规模,再将结果与现状情况对比,作出分析,得出目前北仑港的堆场规模满足各港区的集装箱疏散,论证了数学模型的合理性。最后对未来北仑港各港区堆场规模进行了预测,并对未来北仑港集装箱发展提出了建议。

关键词:物流工程;堆场规模;集装箱吞吐量;堆场规划;北仑港

中图分类号:U169.6

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2017)03-0071-06

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2017.03.010

集装箱堆场是港口的重要组成部分,堆场规模是集装箱港口建设所必需考虑的一个影响因素。国内学者对堆场规模确定已作出一定研究。汪仁官和高惠璇对集装箱码头所需堆场面积进行了分析,主要考虑了堆场日堆存箱数与堆场面积的关系^[1];许松乔运用二阶段随机规划法研究了集装箱堆场容量,考虑了集装箱种类、装卸工艺、堆场单位空间成本和收益等因素对堆场平面箱位数的影响^[2];都江沙等运用随机系统数学模型,建立了集装箱码头接收发放量与堆场面积的关系^[3];唐云芳总结了经验估算法、查图法、规范计算法确定堆场容量的优缺点,并给出了通过堆场容量计算堆场面积的方法^[4]。

目前,大部分堆场方面的研究主要集中于堆场布局、堆场作业方式与港口运作的关系^[5-7]。已有的关于堆场规模的研究成果对堆场规模的预测分析不够全面。本文以北仑港为例,研究得出了集装箱堆场规模与港口码头集装箱吞吐量的关系,综合考虑了集装箱吞吐量、堆场作业时间,集装箱堆箱层数等因素与港口堆场规模的关系,对目前港口堆场规划具有一定参考意义。

1 吞吐量与堆场规模的内在关系

集装箱堆场一般有前方堆场、后方堆场、空箱堆场三种类型。集装箱前方堆场(marshalling yard)是指在集装箱码头前方,为加速船舶装卸作业,暂时堆放集装箱的场地;集装箱后方堆场(container yard)是指集装箱重箱或空箱进行交接、保管和堆存的场所;空箱堆场是指专门办理空箱收集、保管、堆存或交接的场地,专为集装箱装卸区或转运站堆场不足时才予设立^[8]。港口集装箱货物的处理主要包括存储、拆装、配送和流通加工等,本次研究将与集装箱相关的区域分为2种:集装箱堆存区和拆装箱区。通过分析得出,集装箱堆存区的规模与港口集装箱吞吐量和堆场的工作时间、集装箱堆箱层数等因素存在关系。而拆装箱区的规模与堆场作业的方式有直接关系,每个港口堆场的作业方式不尽相同,拆装区的规模与港口集装箱吞吐量的关

收稿日期:2017-05-11

资助项目:上海理工大学人才引进启动项目——可靠性问题研究(YJRC201601)

作者简介:周溪召(1964-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事交通规划与管理方面研究. E-mail: xizhaozhou@163.com

(李 燕 编辑)

系不明显,所以本文仅对堆存区规模与港口集装箱吞吐量的关系展开研究。本文将分别研究港口前方堆场、后方堆场中集装箱堆存区规模与集装箱吞吐量的关系,希望能够提高码头堆场的利用率,为集装箱堆场的规划提供一定参考。

1.1 前方堆场

1.1.1 模型

确定集装箱码头堆场的大小,可分为 2 个步骤:1)确定集装箱码头堆场容量;2)根据水平运输和堆场拆、码垛的堆场工艺方式确定堆场面积。

首先是根据泊位年运量和其他因素确定堆场应当容纳的集装箱数。根据《海港总平面设计规范》(JTJ 211—99)^[9]中的经验公式,可以确定前方堆场的地面箱位数,即集装箱堆场容量。具体计算见式(1)。

$$E = \frac{QK_{d_1}t_{dc}}{T_{yk}}, \quad (1)$$

式中, E 为集装箱堆场容量(TEU); Q 为集装箱码头年运量(TEU); K_{d_1} 为堆场集装箱堆存不平衡系数,按研究港口统计资料确定,无资料时可取 1.1~1.3; t_{dc} 为到港集装箱平均堆存期(d),按港口统计资料确定,无资料可采用表 1 中的数值; T_{yk} 为堆场工作天数(d),取 350~365 d。

表 1 堆场集装箱平均堆存期和运量比例

Table 1 The average storage time and volume ratio of containers in the yard

项 目	集装箱类型					
	进口箱	出口箱	中转箱	空箱	冷藏箱	危险品箱
堆存期 t_{dc}/d	7~10	3~5	7	10	2~4	1~3
运量比例/%	约 50	约 50	0~30	10~30	1~5	1~6

这里的堆场容量 E 是指堆场总容量,即包括重箱、进出口空箱、冷藏箱、及回空箱(经拆装库卸货后的空箱又回到堆场存放)。

确定了堆场所需容量,就可以根据水平运输和堆场拆、码垛的堆场工艺方式确定堆场面积:

$$S_i = \frac{ES_1}{N_1A_e}, \quad (2)$$

式中, S_i 为港区前方堆场堆存面积(m^2); E 为集装箱堆场容量(TEU); S_1 为单位集装箱货物所需面积(m^2/TEU); N_1 为堆场堆箱层数,采用表 2 数值; A_e 为堆场容量利用率(%),采用表 2 数值。

表 2 集装箱堆场堆箱层数及容量利用率

Table 2 Container stack number and capacity utilization in the container yard

项 目	堆场作业设备				
	轨道式集装箱龙门起重机	轮胎式集装箱龙门起重机	跨运车	正面吊运车	空箱堆箱机
堆箱层数 N	5~8	3~5	2~3	3~4	5~8
容量利用率 $A_e/\%$	60~70	55~70	70~80	60~70	70~80

1.2 后方堆场

1.2.1 模型

集装箱后方堆场的堆存面积与集装箱堆存期、堆箱层数、堆存需求量、每集装箱所占用的堆场面积等因

素有关。而港区后方的堆场一般位于物流园区内,所以这里的集装箱后方堆场的堆存面积计算可以参考园区集装箱堆存面积的计算方式^[10],具体计算式为

$$S_o = \frac{Q_1 D_1 K_{d_2} S_1}{THk_h}, \quad (3)$$

式中, S_o 为集装箱堆场堆存面积(m^2); Q_1 为进入集装箱外堆场的年总集装箱物流量(TEU),接近空箱量; D_1 为集装箱外堆场平均堆存期(d); K_{d_2} 为堆存不平衡系数; S_1 为单位集装箱货物所需面积(m^2/TEU); T 为堆场营运期(d); H 为集装箱平均堆码层数; k_h 为高度利用系数。

1.2.2 模型参数分析

D_1 和 K_{d_2} 可对类似港口或类似物流园区的平均堆存期和堆存不平衡系数统计得出。单位平面相位所需面积 S_1 通过分析集装箱堆场布置获得,以标准轮胎式龙门吊为例,集装箱宽度 2 438 mm,各列集装箱之间间隙 300 mm;底盘车通道和各区集装箱之间的距离设为同一数据 4 900 mm,为此每个平面箱位所占面积 S_1 约为 27~33 m^2 ;由于外堆场一般堆存空箱,所以平均堆码层数 H 为 5~8 层;堆场营运天数 T 可取 365 d;集装箱堆码高度根据集装箱龙门吊的标准选取,高度利用系数 k_h 可取 0.75~0.95。

2 案例分析——以北仑港为例

2.1 前方堆场

2015 年北仑各港区集装箱吞吐量、前方堆场规模见表 3。

表 3 2015 年北仑港前方堆场规模

Table 3 The front yard scale of the Beilun Port in 2015

港区	集装箱吞吐量/万 TEU	前方堆场规模/hm ²
北仑港区	560	112
大榭港区	287	75
穿山港区	862	179
梅山港区	210	34

根据上面集装箱吞吐量与港区前方堆场规模的内在关系,利用北仑港 4 个港区的集装箱吞吐量,可计算得出各港区的前方堆场需求规模。式(1)中,堆存不平衡系数 K_{d_1} 取 1.2;到港集装箱平均堆存期 t_{dc} 取 6 d;堆场工作天数 T_{yk} 取 360 d;式(2)中,单位集装箱货物所需面积 S_1 为 30 m^2 ;由于存在空箱与重箱,重箱最多堆到 4 只高,空箱堆到 8 只高,且空箱量低于重箱量,所以堆箱层数 N_1 取 6;北仑港堆场设备作业方式主要是轨道式集装箱龙门起重机和轮胎式集装箱龙门起重机,所以堆场容积利用率 A_c 取 65%。计算结果见表 4。

表 4 根据现状集装箱吞吐量对应的前方堆场需求规模表

Table 4 List of the demanded scale of the front yard corresponding to the current container throughput

港区	集装箱吞吐量/万 TEU	对应所需前方堆场规模/hm ²
北仑港区	560	86
大榭港区	287	41
穿山港区	862	133
梅山港区	210	32

根据对比可以看出,现状各港区的前方堆场规模均大于相应计算得到的需求规模,而且各港区前方堆场

堆存的空箱多为国内外港口间的中转空箱,这类空箱主要以小箱为主,并且周转时间短、周转速度快,所占比例小,可以得出,目前北仑港各港区的前方堆场规模可以满足各自港区的集装箱疏散。同时由于受港区前方堆场面积和进出港口码头交通压力的限制,目前及中远期北仑港区前方堆场不会设置提还空箱点,各大港区内的堆场面积基本上能够满足堆存临时小部分空箱的需求,并且对未来港区前方堆场的面积基本上不会产生较大影响。

2.2 后方堆场

2015 年北仑港后方堆场规模情况见表 5。

表 5 2015 年北仑港后方堆场规模

Table 5 The rear yard scale of the Beilun Port in 2015

港区	集装箱吞吐量/万 TEU	现状各港区前方堆场规模/hm ²
北仑港区	560	67
大榭港区	287	29
穿山港区	862	96
梅山港区	210	23

根据集装箱吞吐量与港区后方堆场规模的内在关系,利用北仑港 4 个港区的集装箱吞吐量,可计算得出各港区所需后方堆场规模。式(3)中,进入集装箱外堆场的年总集装箱物流量 Q_1 接近空箱量,北仑港目前的空箱率接近 40%,所以 $Q_1 = \text{港区集装箱吞吐量} \times 40\%$;平均堆存期 D_1 为 15 d;堆存不平衡系数 K_{d_2} 为 1.2;单位集装箱货物所需面积 S_1 为 30 m²;堆场营运期 T 取 365 d;集装箱平均堆码层数 H 取 7;高度利用系数 k_h 取 0.85。计算结果见表 6。

表 6 根据现状集装箱吞吐量对应的后方堆场需求规模表

Table 6 List of the demanded scale of the rear yard corresponding to the current container throughput

港区	集装箱吞吐量/万 TEU	对应所需后方堆场规模/hm ²
北仑港区	560	56
大榭港区	287	29
穿山港区	862	86
梅山港区	210	21

由表 6 可以看出,目前北仑各港区的外堆场规模均可以满足各港区集装箱的集散需求。根据以上计算分析,目前北仑港各港区前方堆场规模也可以满足集装箱集散需求。但是,由于港口码头空间有限,且内堆场集装箱集散快,所以未来北仑港集装箱内堆场规模变化不会很大;根据北仑港现状,各港区集装箱吞吐量还将有所提高,在港区前方堆场资源变化不大的情况下,港区后方堆场的规模可能需要进一步扩大,下面根据未来北仑港集装箱吞吐量,分析未来各港区的后方堆场规模情况。

关于式(3)参数选取,进入集装箱外堆场的年总集装箱物流量 Q_1 接近空箱量,未来北仑港的空箱率有所下降,这里取 35%,所以 $Q_1 = \text{港区集装箱吞吐量} \times 35\%$;平均堆存期 D_1 为 15 d;堆存不平衡系数 K_{d_2} 为 1.2;单位集装箱货物所需面积 S_1 为 30 m²;堆场营运期 T 取 365 d;集装箱平均堆码层数 H 取 7;高度利用系数 k_h 取 0.85。计算结果如表 7 所示:未来北仑港区的集装箱吞吐量增幅不大,如果降低空箱率,那后方堆场规模还可以有所缩减;未来大榭港区的集装箱吞吐量有一定增加,相应的堆场规模需求也有所增加,如果降低堆场空箱率后,堆场规模可以有所下降,但总体后方堆场规模呈上升趋势;未来穿山港区的集装箱吞吐量有所下降,后方堆场规模需求相应的减少了许多;未来梅山港区的集装箱吞吐量增幅很大,相应的未来后

方堆场需求将会提高很多。

表 7 2020 年北仑各港区集装箱预测吞吐量与后方堆场需求表

Table 7 List of the demanded scale of the rear yard and the container throughput estimated in the areas of the Beilun Port in 2020

港 区	预测集装箱吞吐量/万 TEU	对应所需后方堆场规模/hm ²
北仑港区	565	49
大榭港区	350	30
穿山港区	841	73
梅山港区	690	60

现将北仑港各港区后方堆场现状规模与 2020 年后方堆场需求规模进行对比,结果如表 8 所示。由集装箱吞吐量计算得出的未来北仑港各港区后方堆场需求规模可以看出,目前北仑港区、穿山港区的后方堆场规模能够满足未来港区的集装箱集散需求;大榭港区、梅山港区无法满足未来港区的集装箱集散需求,由于又受到土地资源利用的限制,未来北仑港集装箱发展要从加强土地利用率和提高港口工作效率等方面来满足未来集装箱的堆存、集散。

表 8 北仑港后方堆场规模现状与未来需求对比表

Table 8 The current and the future demands for the rear yard scale of the Beilun Port

港 区	现状各港区后方堆场规模/hm ²	2020 年	
		后方堆场需求规模/hm ²	是否满足
北仑港区	67	49	是
大榭港区	29	30	否
穿山港区	96	73	是
梅山港区	23	60	否

3 结 语

集装箱堆场是港口重要的组成部分,港口前后方堆场规模的确定是否合理对未来港口的整体发展有着重要影响,而集装箱吞吐量对堆场规模的确定又有影响,所以研究集装箱堆场规模与集装箱吞吐量的关系十分必要。本文得出了港口前后方堆场规模与集装箱吞吐量的关系,同时考虑了堆场的工作时间、集装箱堆箱层数以及各种不平衡系数对堆场规模的影响,给出了堆场面积与吞吐量等因素的数学模型,并通过北仑案例,作出分析,论证了模型的合理性,最后对未来北仑港各港区的堆场规模进行了预测。

本研究只考虑了港口堆场的集装箱堆存区规模计算,而港口与集装箱相关的区域包括了集装箱堆存区和拆装箱区,拆装箱区域也是堆场的组成部分,拆装箱区域的规模与堆场的工艺方式等因素相关,因而堆场规模的确定需做更深入的研究。

参考文献 (References):

- [1] WANG R G, GAO H X. The analysis of yard area required for container terminals[J]. Journal of Applied Statistics and Management, 1991(6):43-46. 汪仁官,高惠璇. 集装箱码头所需堆场面积的分析[J]. 数理统计与管理, 1991(6): 43-46.
- [2] XU S Q. Study on container port's yard capacity based on two-stage stochastic programming[D]. Dalian: Dalian University of Technolo-

- gy, 2013. 许松乔. 基于二阶段随机规划的集装箱堆场容量研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [3] DU J S, ZHOU Q S, WANG G P. Container terminal operations to receive payment amount and the yard area of research[J]. Grain Processing, 2010, 35(6): 74-76. 都江沙, 周全申, 王高平. 集装箱码头接收收发量与堆场面积关系的研究[J]. 粮食加工, 2010, 35(6): 74-76.
- [4] TANG Y F. Determination of the capacity and area of container yard[J]. Port Engineering Technology, 1989(3): 19-23. 唐云芳. 集装箱码头的堆场容量和面积的确定[J]. 港工技术, 1989(3): 19-23.
- [5] LU K B, WANG D D, WANG Q. Research on coordinated allocation of container port yard system[J]. Statistics & Decision, 2014(22): 52-55. 陆克斌, 王丹丹, 王强. 集装箱港口堆场系统资源协调配置研究[J]. 统计与决策, 2014(22): 52-55.
- [6] WANG B, XU G P. Multi-objective optimization model of containers stacking in transshipment port yard[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2013, 32(6): 1275-1278. 王斌, 徐国平. 中转港口堆场集装箱堆存多目标优化模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(6): 1275-1278.
- [7] SHENG Y, LIANG C J, DING Y. Dynamic strategy for storage space allocation in container terminal based on genetic algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2015(11): 3145-3150. 盛扬, 梁承姬, 丁一. 基于遗传算法的集装箱港口堆场空间动态分配策略[J]. 计算机工程与设计, 2015(11): 3145-3150.
- [8] LI J. Discussion on container yard management[J]. Maritime China, 2003(2): 92-93. 立卷. 集装箱堆场管理初探[J]. 中国远洋航务, 2003(2): 92-93.
- [9] Ministry of Transport of the People's Republic of China. Design code of general layout for sea port: JTJ 211-99[S]. Beijing: China communications press, 1999. 中华人民共和国交通部. 海港总平面设计规范: JTJ 211-99[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [10] YANG L P, HU Y C, JI S W. Blurred algorithm of container yard area in logistics park[J]. Logistics Sci-Tech, 2007, 30(7): 104-105. 杨露萍, 胡云超, 纪寿文. 物流园区集装箱堆场面积的模糊计算[J]. 物流科技, 2007, 30(7): 104-105.

Research on the Relationship Between Port Yard Scale and Container Throughput—Taking the Beilun Port as an Example

ZHOU Xi-zhao, HANG Jia-yu

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In view of the imperfect planning of the container yards at the present, the relationship between the port yard scale and the container throughput is discussed in detail. According to the types of port yard, the relationship between the front yard scale as well as the rear yard scale and the container throughput is studied, respectively. Meanwhile, the influences of the working time of yard, the number of container stacks and other unbalance factors on the container throughput are taken into account. Thus, relational formula between the front yard scale as well as the rear yard scale and the container throughput are given, which are of certain reference significance in the present port yard planning. The Beilun Port is taken as the example. Firstly, a mathematical model is established, by which the scale of current yard demand in the areas of the Beilun Port is obtained. Then, the results from the model are compared with the actual situation, from which it is known that the current yard scale of the Beilun Port can meet the container evacuation in the port areas, giving a demonstration of rationality of the mathematical model. Finally, the future yard scale in the Beilun Port area is estimated and the suggestions of the container development in the Beilun Port in the future are put forward.

Key words: logistics engineering; yard scale; container throughput; yard planning; Beilun Port

Received: May 11, 2017