



大型连续布置煤炭泊位装船能力影响因素分析

吴立新¹, 于洋², 刘珊¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 神华黄骅港务有限公司, 河北 沧州 061113)

摘要: 分析大型煤炭码头装船能力的主要影响因素, 对等待排放压舱水、系统效率、移舱作业等的影响提出对策、措施, 并重点分析、论证泊位数量、装船线数量匹配关系对装船能力的影响, 提出泊位数量与待泊泊位数量配比的合理化建议。以黄骅港工程为依托, 结合该研究成果提出了合理的码头布置方案。

关键词: 煤炭装船泊位; 能力影响因素; 对策分析

中图分类号: U 656.1⁺33

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0100-06

Analysis on ship loading influence factors of continuous layout berths in large coal terminal

WU Li-xin¹, YU Yang², LIU Shan¹

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

2. Shenhua Huanghua Harbor Administration Co., Ltd., Huanghua 061113, China)

Abstract: There are many factors which decrease the throughput of the ship loading system in large coal terminal, especially *in the case of continuous layout berths*. The influence factors such as deballasting delays, system capacity and changing hatches, etc. are analyzed deeply and the relevant solutions are proposed. Then the reasonable matching of waiting and working berths is recommended *in continuous layout berths* of coal ship-loading terminal. Combined with the Huang-Hua port project and the research result, optimal layout plan of terminal has been put forward.

Keywords: coal ship-loading berth; throughput influence factor; solution analysis

由于我国煤炭资源禀赋条件的原因, 在国内煤炭运输形成了西煤东运、北煤南运、铁海联运的运输格局。近些年, 随着国家经济的发展, 煤炭运输需求也增长较快, 在渤海湾相应建设了一批大型煤炭装船项目。这些项目根据规划方案、自然条件及配套条件的不同, 每个项目的总平面布置、工艺方案等均存在一定差别。码头布置基本为多泊位顺岸或突堤布置, 并设有待装泊位, 堆场装卸工艺方案多为传统露天堆场方案, 堆取料设备为悬臂堆取料机。无论采用何种布置形式, 提高码头生产效率、降低企业的运营成本是设计追求的目标。笔者结合黄骅港煤炭港区的实际运

营数据, 对影响码头能力的关键因素进行了分析, 提出提高码头装船能力和生产效率的措施, 供相关类似项目参考。

1 项目概况

黄骅港煤炭港区是我国北煤南运的主要出海通道之一, 目前已经完成四期工程建设, 设计年通过能力 1.78 亿 t, 一、二期工程采用露天堆场+突堤码头单侧靠船方案, 三、四期工程采用筒仓堆场+突堤码头双侧靠船方案。一、二期工程装船系统额定能力为 6 000 t/h, 三、四期工程装船系统额定能力 8 000 t/h^[1-2]。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 吴立新(1977—), 男, 高级工程师, 注册咨询工程(投资), 从事港口装卸工艺设计。

2 影响装船能力主要因素分析

煤炭装船作业是一个十分复杂的过程, 煤炭装船能力受多种因素影响。笔者对 2014 年黄骅港全港装船能力影响因素进行统计(表 1), 其中以港方影响、货方影响、船方影响、天气影响^[3]为主, 分别为 10.98%、37.66%、7.77% 和 1.98%, 其中单一影响因素较大的是无船待时、等排水、等货和等流程等(图 1)。排除恶劣天气、等货、等流程等因素, 本文主要研究泊位利用率(无船待时)、等排压舱水及装船换舱等对装船能力的影响。

表 1 装船能力影响因素

影响方	装船机	SL1~SL7	时间占比/%	SL8~SL11	时间占比/%
港方影响	计划停机	271.9	2.7	228.5	2.6
	故障停机	111.9	1.1	59.6	0.7
	移泊作业	92.5	0.9	121	1.4
	等流程	553.5	5.5	107.3	1.2
	调水尺	89.9	0.9	156.5	1.8
货方影响	等货	652.9	6.5	714.4	8.2
	无船待时	2 642.7	26.4	1 847.3	21.1
船方影响	等排水	527.5	5.3	1 098.1	12.5
自然影响	天气影响	190.7	1.9	109.8	1.3

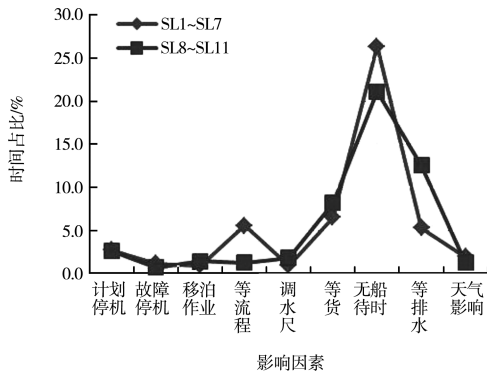


图 1 装船能力影响因素曲线

2.1 泊位利用率及设备利用率因素分析

1) 泊位利用率。

对 2014 年黄骅港全年到港船舶在港停时进行统计分析, 全年装船 3 830 艘, 其中一、二期工程装船 2 068 艘, 三、四期工程装船 1 762 艘。船舶靠泊时间、作业时间和非作业时间统计(表 2)。从表 2 统计数据分析, 码头泊位利用率较高, 基

本达到了规范取值的上限, 提高泊位利用率的可能性不大。

表 2 泊位利用率统计

工程名称	靠泊时间/h	作业时间/h	待装时间/h	待离时间/h	泊位利用率/%
一、二期工程	26.38	18.25	2.82	5.26	77.4
三期工程	23.66	13.63	4.54	5.45	73.5
四期工程	30.91	13.30	8.62	9.54	59.1

2) 装船流程及装船机利用率分析。

装船流程及装船机的设备利用率受系统可靠性、设备可靠性、系统故障、维修管理等多种因素影响。对 2014 年黄骅港装船流程和装船机设备利用率的统计见表 3 和图 2。

表 3 装船流程及装船机利用率统计

装船机	流程时间/h	流程利用率/%	单机运行时间/h	单机利用率/%
SL1~SL7	3 346.3	38.20	3 141.1	35.86
SL8~SL11	3 338.4	38.11	3 328.3	37.99

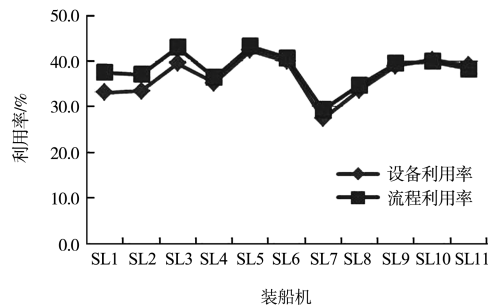


图 2 装船流程及装船机设备利用率曲线

综合分析, 装船流程及装船机设备利用率均较低, 为提高泊位装船能力, 利用率应有较大的提升空间。

2.2 装船流程效率及装船机效率因素分析

在装船时间一定的情况下, 装船流程的效率直接影响了码头装船能力。而装船流程效率受到装卸工艺方案、装卸工艺流程、设备配置、生产管理水平和司机水平等多因素影响(表 4、图 3)。

表 4 装船流程机装船机设备效率统计

装船机	额定能力/(t/h)	流程效能/(t/h)	流程效率/%	单机运行时间/h	单机台时效率/%
SL1~SL7	6 000	2 688.0	44.80	3 141.1	47.80
SL8~SL11	8 000	5 268.1	65.85	5 287.1	66.09

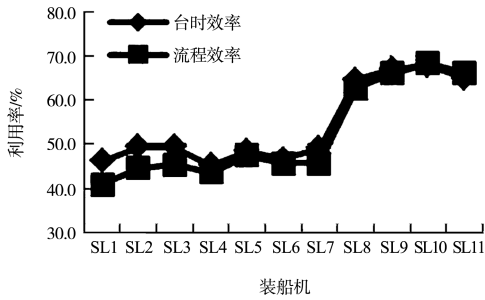


图3 装船流程及装船机效率曲线

综合分析，露天堆场装船系统效率较低，筒仓堆场装船系统效率较高，三、四期筒仓装船系统较一、二期工程装船系统台时效率提高 18.2%，装卸流程系统效率提高 21.05%。

2.3 等排压舱水因素分析

为保证航向安全，船舶在空载航行过程中均要装载一定的压载水，一般情况下，压载水为船舶载质量的 25%~30%，压载水排放能力一般为 1 000 m³/h 左右，以一艘 5.0 万吨级散货船为例，排压舱水时间为 10 h 左右。根据相关管理规定，在船舶靠泊后才允许排放压载水，排压舱水作业基本涵盖了整个装船作业过程。黄骅港 2013 年到港船舶排水时间见表 5，全年到港船舶 5 944 艘，船舶排水时间随着船舶吨级的增加而相应增加，平均排水时间为 10.98 h。通过对其中 1 834 艘具有统计数据的船舶在装船作业中等排水时间进行分析，船舶装载作业中等排水时间随着船舶吨级的增加而相应增加，平均等排水时间为 4.70 h。

表5 船舶排压舱水及等排压舱水统计

船舶吨级 DWT/万 t	2013 年全年到港数据		2013 年部分船舶数据	
	艘数	平均排水时间/h	艘数	平均等排水时间/h
1(0.750 1~1.25)	416	5.55	52	2.67
1.5 000(1.250 1~1.75)	620	7.18	142	2.87
2 (1.7501~2.25)	868	8.27	211	3.37
3.5(2.250 1~4.5)	1 804	10.93	617	4.73
5(4.500 1~6.5)	1 432	12.90	562	5.33
7(6.500 1~8.5)	486	15.50	248	5.81
10(8.500 1~10.5)	318	17.67	2	5.67
合计	5 944	10.98	1 834	4.70

2.4 装船换舱作业因素分析

目前到港散货船型以 3.5 万~5.0 万 DWT 最多，以 5 万吨级船舶为例，船体共 5 个船舱，每个船舱载质量约为 1 万 t。装船过程一般分为 3 个循环。第 1 个循环每个船舱装载 60%，第 2 个循环装载约剩下的 40%，第 3 个循环仅在部分船舱装载，主要为结舱和船舶调整水尺。

船舶装载采用跳跃式装船方法：从船首到船尾依次编号为①~⑤，单舱容量约 1 万 t，见图 4。按照装船原则，第 1 个循环单舱装载量约为 6 000 t，第 2 个循环约为 4 000 t。船舱的装载顺序为④②③⑤①，每装载完一个舱后进行移舱作业。若第一轮装船作业结束后，船舶还有过多的压舱水没有排出，则需停止装船作业，等待船舶排出压舱水。随后装船机可连续作业，直至装船结束。

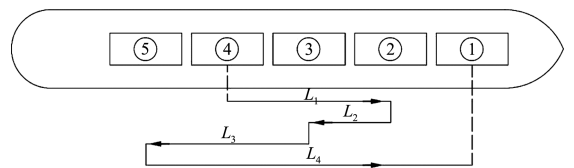


图4 5万吨级散货船舱口分布

按照船舶装载原则，一个装载循环中装船机移舱顺序及每次移舱的移动距离见图 5。移舱过程中，装船机设计大车行走速度为 0~30 m/min，实际运行的平均速度约为 15 m/min。根据计算各次移舱作业所需的时间，见表 6。

表6 移舱时间

工序	移舱距离/m	运行时间/min	俯仰时间/min	总移舱时间/min
④-②	63.6	4.24	5	9.24
②-③	31.8	2.12	5	7.12
③-⑤	63.6	4.24	5	9.24
⑤-①	127.2	8.48	5	13.48
①-④	95.4	6.36	5	11.36

从表 6 可以看出，移舱的最短所需时间为 7.12 min，最长所需时间为 13.48 min。每艘船在完成装船作业过程中均需要移舱 10 次左右，需要时间 70~130 min，装船移舱时间占装船时间 15%~20%，在换舱过程中装船机和取料机均停止作业。

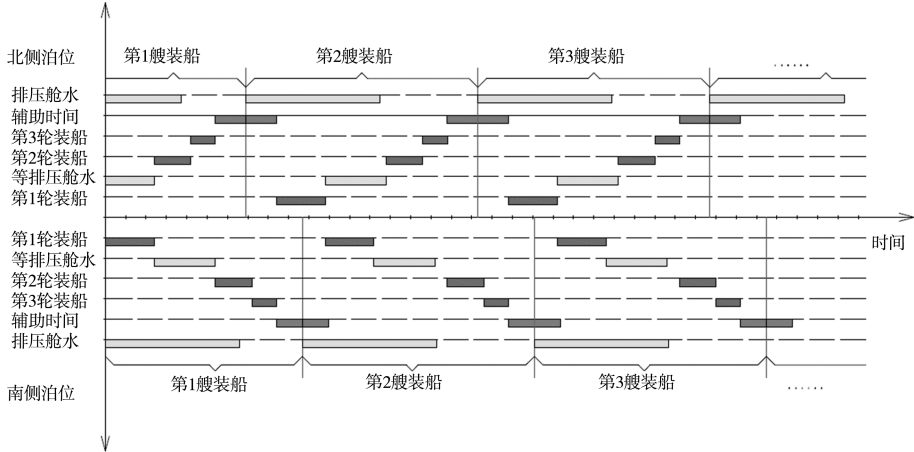


图 5 双侧靠泊装船机装船过程

3 提高系统装船能力对策分析

3.1 设置待泊泊位

根据泊位利用率及设备利用率分析,装船码头普遍存在设备利用率较低的现象,随着国内港机设备制造水平、设备维护保养能力的不断提高,装船系统利用率合理水平应在 60% 以上。为了解决装船系统利用率较低的问题,目前国内北方主要大型煤炭装船码头布置均设置了待泊泊位,减少等排压舱水影响并提高设备利用率。由传统的“机等船”转变为“船机匹配”,提高了系统利用率、节省了工程投资。

1) 待泊泊位作业模式。

以黄骅港三、四期工程为例,码头采用突堤布置双侧靠船的形式,8 个泊位配置 4 条装船作业线,作业过程中利用装船机的回转进行两侧泊位轮换作业,提高了装船机设备利用率。以其中 1 台装船机双侧装船过程为例进行分析(图 5),装船机装南侧泊位的第 1 轮装船时间约 t_1 (包括了移舱和换流程时间),装完以后就进行等水作业,等水时间约 t_2 ; 南侧第 1 轮装完后,装船机回转到码头北侧进行北侧第 2 轮装船作业;北侧第 2 轮装船作业后装船机回转到南侧进行南侧泊位的第 2 轮装船作业。通过这种循环的排列计算,装船机的装船平均占用率达到 65% 左右,较传统装船码头装船机占用率提高 30%。

若码头采用顺岸布置方案,待泊泊位作业可类比码头双侧靠船模式。

2) 待泊泊位数量及能力。

在生产性泊位数量一定的情况下,合理设置待泊泊位的数量成为提高装船能力并节省工程投资的关键。待泊泊位数量少,因等排水时间占比多,装船机无法发挥正常能力;待泊泊位数量多,装船机无法同时兼顾更多的泊位,造成岸线资源的浪费。而在规范泊位能力计算中无法考虑 2 个泊位共用 1 台装船机的相互影响程度,所以仅能适当增加辅助作业时间来进行装船能力测算。目前较为有效的方法是通过计算机仿真和穷举法进行测算。对不同生产泊位和待泊泊位数量的不同组合进行测算的结果见表 7。在条件允许的情况下应尽量增加待泊泊位的数量。

表 7 装船能力计算

码头配置	装船机额定能力/(t/h)	年装船能力/(万 t/a)	平均装船机设备利用率/%	平均每条装船线能力/t
一装一待	8 000	2 563	55.4	2 563
二装一待	8 000	4 548	49.2	2 274
三装二待	8 000	7 461	53.8	2 487
四装一待	8 000	7 741	41.8	1 935

3.2 设置缓冲仓

国外大型装船码头工艺系统方案在堆场与码头之间一般设置缓冲仓,用以缓冲、平衡堆场取料和码头装船系统效率不匹配的问题,减少因装

船换舱带来的系统停机问题。根据布置方案不同，主要有串联缓冲仓和并联缓冲仓方案。并联缓冲仓在装船移舱过程中使用，缓冲仓容量较小；串联缓冲仓一直使用，缓冲仓容量较大。

缓冲仓主要作用如下：装船过程中调节堆场取料和码头装船时间和能力的不匹配的矛盾；便于控制仓下料流量，从而提高装船设备满载率，进而提高码头装船能力；缩短装船准备时间，一个装船循环周期完成后，利用缓冲仓的缓冲能力马上开始下一个装船循环作业。在装船机故障停机的情况下，缓冲仓能够卸空线上物料，保证系统实现空载启动。缓冲仓工作时间见图6。

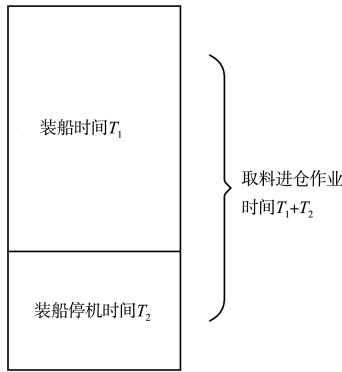


图6 缓冲仓工作时间

$$T = T_1 + T_2 \quad (1)$$

式中： T 为装船作业一个循环所需时间（min）； T_1 为取料装船时间； T_2 为装船换舱时间。

1) 缓冲仓容量确定方案1。

缓冲仓出仓能力和仓顶进料能力相同，均为 q_0 。料仓内容量和作业时间关系见图7。根据式(1)，假设第1轮每个装船循环周期为 T 。在1个装船周期内应出现4次停机，进仓量为

$$Q_{进} = 4(T_1 + T_2)q \quad (2)$$

出仓量为

$$Q_{出} = 4T_1q \quad (3)$$

在一个装船周期内仓内增加量为

$$\Delta Q_1 = T_2q \quad (4)$$

如此进入下个循环周期将出现 ΔQ_2 、 ΔQ_3 、 ΔQ_4 、...、 ΔQ_n 。若进出仓能力相同的情况下，保

证堆场取料和装船均连续作业，则缓冲仓容量将无限放大。

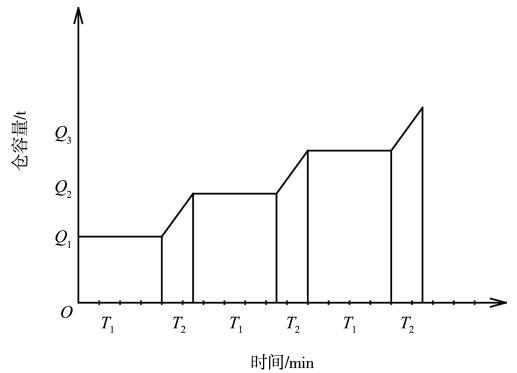


图7 缓冲仓容量确定方案1

2) 缓冲仓容量确定方案2。

缓冲仓进仓能力和出仓能力不同，进仓能力为 q_1 、出仓能力为 q_2 ，只有一个循环周期内料仓的进出料量相等，才能保证进出料两端连续作业。所以

$$q_1 = q_2 T_2 / (T_1 + T_2) \quad (5)$$

$$\Delta Q = q_2 - q_1 = q_2 / (T_1 + T_2) \quad (6)$$

仓内料位量变化曲线见图8。综合分析，采用缓冲仓，装船效率可提高约10%^[4]。

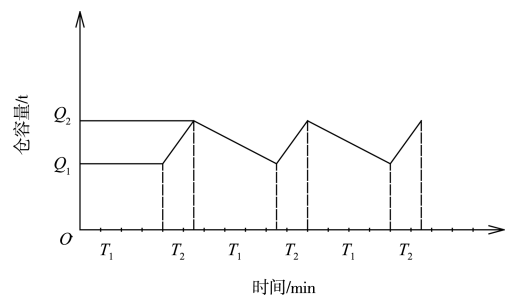


图8 缓冲仓容量确定方案2

3.3 提高装船系统效率

在作业时间一定的情况下，装船系统效率主要取决于装卸系统工艺方案的合理性、灵活性以及设备选型的合理性。传统的露天堆场装船效率主要取决于取料机的平均效率、流程的可靠性等方面。根据现场经验在无取料配煤及其他限制条件的情况下，取料机平均效率为额定效率的0.7左右。若考虑取料配煤的影响效率将更低。受传统

露天堆场工艺形式、取料模式等多方面限制,从设备本身提高装船系统效率有限。露天堆场提高取料系统效率主要从生产管理、运营调度角度,提高料垛作业的计划性、加大料垛、提高设备可靠性。

4 结论

1) 通过对影响装船能力主要的影响因素进行分析,等排压舱水时间较长、设备利用率较低、系统效率较低等为影响泊位通过能力的主要因素。

2) 多泊位连续布置方案设置待泊泊位可大大提高设备的利用效率和码头通过能力。

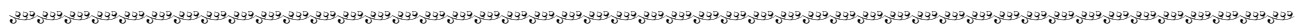
3) 装船方案设置缓冲仓可以有效减少装船移

舱的影响,提高码头通过能力约 10%。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司.黄骅港(煤炭港区)四期工程初步设计[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2014.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司.黄骅港(煤炭港区)五期工程工可研[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2015.
- [3] 郭素银.黄骅港装卸能力影响因素研究[J].江苏商论,2013(23):171-173.
- [4] Hatch 公司.黄骅港(煤炭港区)五期工程概念设计[R].澳大利亚:Hatch 公司,2015.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第 94 页)

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司.大连港矿石专用码头码头结构加固改造方案[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2011.
- [2] 王广贤,卢生军,杨晓婷.新型重力式码头改造技术[J].水运工程,2016(2):87-91.
- [3] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.青岛港前湾一期工程 65#~68#泊位码头结构加固改造工程方案[R].天津:中交第一航务工程勘察设计院有限公司,2013.
- [4] 孙淑娟,陈长贵.烟台地方港务局 1#~3#泊位码头改造工程设计简介[J].海岸工程,1998(3):47-52.
- [5] 王笑难,杨丽琴,岳建文,等.已建码头升级改造工程的几种实用类型[J].水道港口,2005(2):122-125.
- [6] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.南通港狼山港区南通港口集团 405#泊位码头加固改造工程方案[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2011.
- [7] Lim A, Aliviado R, Jaradat O A, et al. Berths 145-147 container terminal wharf upgrade design and construction at the port of Los Angeles[C]//12th Triannual International Conference on Ports.USA: Ports and Harbors Committee of the Coast, Oceans, Ports and Rives Institute of ASCE, 2010: 414-423.
- [8] 中交水运规划设计院有限公司.宁波-舟山港北仑港区多用途码头改造工程施工图设计[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2015.
- [9] 华晓敏,周晓春,李增光.镇江港大港港区 2#~5#泊位码头结构加固改造工程设计[J].水运工程,2011(10):71-75.
- [10] 郭莲清.天津港码头结构综述[J].港湾技术,2001(S1):64-71.

(本文编辑 武亚庆)