

渔港建设标准中码头岸线长度的确定

桂劲松¹, 温志超¹, 毕恩凯¹, 陈国强², 王刚²

(1. 大连海洋大学 海洋与土木工程学院, 辽宁 大连 116023; 2. 中国水产科学研究院 渔业工程研究所, 北京 100141)

摘要: 为了确定符合渔港实际作业情况的码头合理岸线长度, 分别采用统计分析和仿真模拟的方法进行研究, 根据采集的1305组渔港实际数据资料, 对各级别渔港的现有码头岸线长度进行统计分析, 得到中心渔港、一级渔港码头岸线长度的1/4、1/2、3/4、1/3、2/3分位值。应用仿真软件Arena模拟渔船到港作业情况, 采用两种不同的渔船到港作业工艺流程, 通过大量仿真试验, 得到各级渔港码头的合理岸线长度。综合统计分析及仿真模拟结果, 得到中心渔港和一级渔港码头合理岸线长度分别为700、500 m。

关键词: 渔港建设标准; 码头合理岸线长度; 统计分析; 仿真模拟

中图分类号: U651

文献标志码: A

现行渔港建设标准将渔港分为四个等级, 分别为中心渔港、一级渔港、二级渔港、三级渔港。其中中心渔港、一级渔港由国家重点投资建设, 其建设标准的确定, 对于渔港的发展具有导向作用, 因此, 相关指标的确定至关重要。目前, 中心渔港和一级渔港采用的建设标准如下。

中心渔港: 渔港年鱼货卸港量在8万t以上, 可满足800艘以上大、中、小型渔船停泊、避风和补给, 水、陆域面积分别达到40~50万m²和20万m²以上, 渔用岸线长度1000m以上, 码头岸线长度不少于600m, 码头前沿陆域纵深不少于100m, 渔港防灾减灾能力达到50年一遇以上, 具有吸纳一定数量转产转业渔民的能力。

一级渔港: 渔港年鱼货卸港量在4万t以上, 可满足600艘以上大、中、小型渔船停泊、避风和补给, 水、陆域面积分别达30~40万m²和10万m²以上, 渔用岸线长度800m以上, 码头岸线长度不少于400m, 渔港防灾减灾能力达到50年一遇以上, 具有吸纳一定数量转产转业渔民的能力。

码头岸线长度是一个确定渔港规模的重要指标。在原有建设标准制定时, 该指标的确定理论依据不足, 因此, 在制定新的渔港建设标准时, 对该指标进行深入细致的研究具有重要意义。

利用仿真模拟方法确定港口规模在商港规划中已有应用, Shabavek等^[1]利用Witness仿真软件建

立模型, 较为准确地预测了香港Kwai Chung码头的运营情况。Pidgeon^[2]应用模拟软件建立模型, 研究了影响海洋运输系统的安全因素。随着港口技术的发展, 越来越多的船舶采用柔性靠泊方式进行靠泊作业。石磊^[3]在研究集装箱码头作业工艺流程时, 将柔性靠泊方式引入集装箱码头, 得到了柔性靠泊对集装箱码头的影 响; 杨春霞等^[4]在分析集装箱码头合理岸线利用率时同样是采用柔性靠泊作业方式。Malavasi等^[5]建立了一个模拟海港集装箱码头作业的模式, 用以评估其通过能力以及码头利用程度, 考虑了到港船舶尺寸、装卸作业量和到港的随机性等。但是, 在渔港规划中仿真模拟方法的应用还较少。

本研究中, 针对渔港实际数据资料进行统计分析, 应用仿真软件进行仿真模拟, 比较用两种方法计算得到的渔港码头岸线长度, 最终确定各级别渔港码头的合理岸线长度。下面以中心渔港为例, 说明码头岸线长度的确定方法。

1 现有中心渔港实际数据的统计分析

在1305份渔港统计数据(<http://www.feri.ac.cn/>)中, 获取中心渔港有效数据58份, 一级渔港有效数据76份。针对获取的中心渔港数据, 应用数理统计方法进行分析, 得到中心渔港码头岸线长度的统计值。在确定渔港级别时主要考虑

渔港的水域面积、陆域面积、码头岸线长度和渔港年卸港量的大小,已有渔港数据中给出了各个渔港的水域面积、陆域面积和码头岸线长度资料,故将这3个因素作为分析渔港数据的主要指标。

按总海域和分海域分别进行统计分析,针对渔港的码头岸线长度这一指标对中心渔港进行排序。在确定合理码头岸线长度时采取求分位数的方法,分位数可以直观地反映出数值在队列中的相对位置情况。本研究中,分别采用1/4、1/2、3/4和1/3、2/3两种分位数方法,统计分析结果见表1。从表1可见,海区对码头岸线长度的影响无明显规律,故可按照总海域指标确定码头合理岸线长度。

对渔港数据进行统计分析时用到了5个分位数,根据所得结果可知,1/4、1/2和1/3分位数所得指标数值较大,不具有代表性,而3/4和2/3分位数可以较好地反映现有中心渔港码头岸线的实际情况。经综合分析,码头岸线长度取为700 m较为适宜。

表1 中心渔港码头岸线长度统计结果

Tab. 1 Statistical results of quay length in a central fishing port m

海域 sea region	码头岸线长度 coastline length of quay				
	1/4	1/2	3/4	1/3	2/3
总海域 total sea region	1230	825	708	1000	698
东海 East China Sea	1400	860.5	698	940	600
黄渤海 Huanghai and Bohai Sea	1337	1045	855	1230	950
南海 South China Sea	829	739.5	600	825	511

2 应用仿真软件 Arena 对中心渔港码头岸线合理长度进行分析

2.1 模型介绍

船舶的靠泊方式可以分为固定靠泊和柔性靠泊。现行的渔港设计规范是基于传统的固定靠泊方式以泊位控制渔船的靠泊,无论何种船型的渔船都占用一个泊位,这样不符合渔港的实际运营情况。在实际作业中,渔船均采用柔性靠泊方式^[6]。柔性靠泊在考虑渔船靠泊时,将整个码头视为一个整体,根据船舶长度为其分配一定的岸线长度,不再固定泊位,以岸线的剩余长度作为判断渔船能否靠泊的基准,这种靠泊方式可以使码头停靠的船舶数量超过原来划分的固定泊位数,提高码头岸线利用率。系统可以分为连续性系统和离散性系统,连续性系统的状态随时间连续变化,离散性系统的状态

只在时间的离散点上产生。

本研究中采用柔性靠泊系统模型,在离散事件仿真实论的基础上,应用仿真软件 Arena 构建渔船柔性靠泊的系统仿真模型。仿真的输出为渔港年卸港量及渔船的平均等待时间、平均服务时间和平均排队长度等渔港运营参数。仿真模型中渔港占用泊位时间根据渔船载鱼量、码头泊位卸鱼效率等条件计算确定。仿真模型用来确定不同渔港码头岸线的合理长度,而码头岸线的合理长度,应使渔船待泊费(C_s)与码头闲置费(C_b)等综合费用最低。

根据渔港码头柔性靠泊工作系统的具体情况,将其分为五个子系统:渔船进港系统、锚地待泊系统、靠泊系统、装卸作业系统和离泊系统,其关系如图1所示。

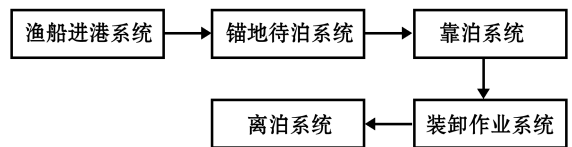


图1 模型运行系统介绍

Fig. 1 Introduction to a system of model execution

根据文献[7]可知,渔船日到港船数基本服从泊松分布,改变不同的船型比例,通过大量的仿真试验,得到渔船待泊费和码头闲置费总和最低对应的码头岸线长度,即为码头岸线合理长度。

2.2 模型数据

模型中的控制变量为渔船到港平均时间间隔、渔船船型比例和码头岸线长度;实体属性包括各型号渔船占用码头岸线长度和每艘渔船的载鱼量,同时还要统计各型号渔船进出港时间和在港作业时间。根据排队论的基本理论,当单位时间内到港渔船数服从泊松分布时,渔船到达的时间间隔以同一参数 λ 服从负数指数分布,即相继到达的两艘渔船的时间间隔为某数 t 的概率密度:

$$g(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}.$$

参考闸坡渔政大队提供的渔业船舶进出港航行签证簿、福建东山铜陵渔港渔船到港签证、福建祥芝渔港渔船报关材料和大连杏树渔港渔船报关资料,可以统计出日到港渔船数为25~69艘。按现行渔港建设标准,中心渔港的年卸港量在8万t以上,再通过每艘渔船载鱼量的情况和日到港渔船数,可以反推出渔船到港平均时间间隔。在本文的模型计算中,设置国家中心渔港渔船到港平均时间间隔分别为0.45、0.48 h。

根据对12 000组随机抽样渔船数据统计结果

得到渔船比例如下：小型渔船占45%，中型渔船占34%，大型渔船占21%。适当考虑渔船的发展及到港比例的不确定性，模拟时采用4种渔船到港比例，即小型渔船：中型渔船：大型渔船分别为0.4:0.3:0.3、0.35:0.35:0.30、0.3:0.4:0.3、0.30:0.35:0.35。

通过对12 000组渔船数据统计分析，得到3种渔船设计标准船型的船长，小型渔船船长为14.2 m，中型渔船船长为34.32 m，大型渔船船长为45 m。由文献[8]得到渔港码头泊位长度计算公式为

$$L = L_b + 0.15L_b,$$

其中， L_b 为渔船设计标准船型船长。

参考《杏树渔港卸港量及船只情况统计表》(1年)和《闸坡水产品市场统计表》(3年)，设定各型号渔船载鱼量如表2所示。

表2 中心渔港渔船载鱼量统计表

Tab. 2 Amount of fish cargo loading of a fishing boat in a central fishing port

渔船种类 type of fish boat	载鱼量/(t·艘 ⁻¹) fish carrying capacity	隶属度 membership degree
小型渔船 small-sized fishing boat	2	0.30
	3	0.45
	4	0.25
加权平均 weighted average	2.95	
中型渔船 middle-sized fishing boat	4	0.4
	6	0.4
	7	0.2
加权平均 weighted average	5.4	
大型渔船 large-sized fishing boat	6.5	0.4
	8.0	0.4
	10.0	0.2
加权平均 weighted average	7.8	

表2给出了各级别渔船的载鱼量及其隶属度。隶属度表示的是该种载鱼量在此类船型中所占比例。模型计算所取数据如下：

小型渔船：占用码头长度为17 m，占用泊位时间为2 h；

中型渔船：占用码头长度为38 m，占用泊位时间为2.8 h；

大型渔船：占用码头长度为52 m，占用泊位时间为3.5 h。

桂劲松^[9]对渔船待泊费和码头闲置费的费用比进行了探讨，并给出了使船方和港方综合费用最低的费用比比值区间，卸鱼、物资码头取3.1~

3.6，加冰码头取2.6~3.6。本文模型计算中考虑的是综合作业泊位，即渔船卸鱼及物资补给在同一泊位进行，并参照桂劲松等^[10]的方法取小型渔船费用比为2.3:1.0，中型渔船费用比为2.9:1.0，大型渔船费用比为4.1:1.0。

2.3 仿真结果

通过仿真计算，得到年小型渔船的待泊时间为 t_1 ，中型渔船的待泊时间为 t_2 ，大型渔船的待泊时间为 t_3 ，泊位闲置时间为 T ；年渔船待泊费($C_s = 2.3t_1 + 2.9t_2 + 4.1t_3$)与泊位闲置费($C_b = T \times 1$)之和与渔港年卸港量的比值即为每吨相对费用。渔船到港时间间隔为0.45 h条件下的仿真计算结果如表3、图2-A所示。同理得到渔船到港时间间隔为0.48 h条件下的仿真计算结果如图2-B所示。

表3 4种船型比例情况下的码头利用率及单位费用

Tab. 3 Efficiency of dock and cost per unit with proportion of 4 kind types of fishing boat

小中大船型比例 type of fishing boat ratio	码头长度/m length of quay	码头利用率/% efficiency of dock	每吨相对费用 relative cost per ton
0.4 : 0.3 : 0.3	600	40	0.075
	650	36	0.072
	700	32	0.069
	750	30	0.075
0.35 : 0.35 : 0.30	600	41	0.075
	650	38	0.075
	700	34	0.072
	750	33	0.076
0.3 : 0.4 : 0.3	600	43	0.076
	650	39	0.075
	700	35	0.074
	750	34	0.075
0.30 : 0.35 : 0.35	600	45	0.080
	650	41	0.079
	700	36	0.075
	750	35	0.079

从图2可见，随着渔港码头岸线的增加，由船方和港方产生的每吨相对费用逐渐减小，当减小到一定程度时，每吨相对费用则随着码头岸线长度的增加而增大。这是因为当码头岸线长度较小时会增加渔船待泊时间，进而会增加船方待泊费用；而当码头岸线长度过大时，虽然渔船待泊时间缩短，但增大了渔港的建港费用，同时降低了码头岸线利用率(增大了码头闲置费用)，因此，码头的每吨相对费用会随着码头岸线长度的增加呈现出先下降后

上升的趋势。在对中心渔港进行仿真模拟时,选取了两个渔船到港时间间隔 0.45 h 和 0.48 h,分别得到的码头岸线长度为 700 m 和 650 m (每吨相对费用最低时对应的即为码头岸线合理长度),但是考虑到渔港未来的发展,最后确定中心渔港码头岸线的合理长度取 700 m 较为合适。

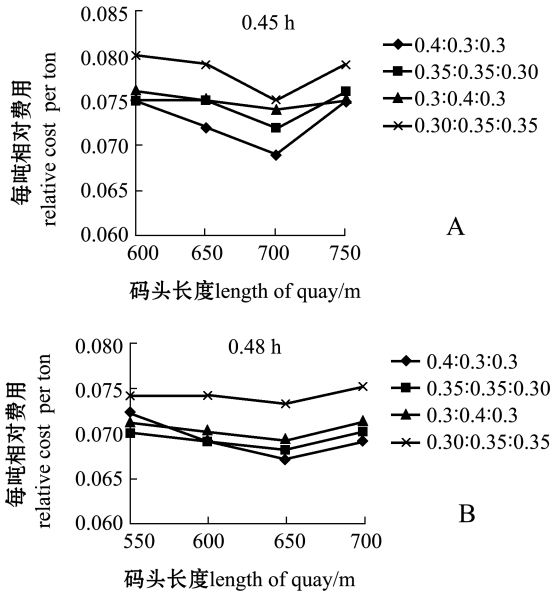


图 2 时间间隔为 0.45 h、0.48 h 时的单位费用和岸线长度对应曲线

Fig. 2 Curve corresponding of cost of unloading fishing to quay length in a fishing port (in 0.45 h and 0.48 h interval)

2.4 渔船并列停靠时码头岸线长度的合理性分析

根据各海区渔港特点,渔船到港作业方式可以分为两种,一种为分散进出港,一种为集中进出港。分散进出港,渔船在一天 24 h 之内分散到港,渔船到港之后即在港内锚地等待靠泊,当有合适的岸线长度时,可以靠泊并进行装卸作业,待渔船完成作业后,立即离开泊位,到港内锚地锚泊或直接

出港。集中进出港,渔船集中在每天上午 6:00 至 10:00 陆续到达渔港,按照到港时间先后沿着码头岸线方向依次排列,而后沿码头岸线方向排列第二排、第三排、……,直至渔船停靠结束。渔船在港作业结束之后不立即离泊,直到下午 16:00 以后依次离港。考虑到港口水域面积条件,当渔船采用集中进出港方式时,渔船并列排数不易较多。若是渔船排列数较多,会占用较大的水域面积,进而会减小回旋水域的面积,容易造成港内交通拥堵,一般渔船并列排数不宜超过四排。

在本节中将改变渔船的停靠方式,采用集中进出港。在此模型中采用加权平均的方法确定单个泊位长度为 38 m (将小、中、大 3 种渔船设计标准船型船长加权平均之后为 36.6 m,而中型渔船泊位长度为 38 m,因此,取用中型渔船泊位长度为代表性渔船的泊位长度),设定码头岸线长度为 700 m,即每列可以停靠渔船 18 艘。模型中的其他参数与上述模型中相同,模拟计算结果如表 4 所示。从表 4 可见:在来船数量最大的情况下(即每天来船数量达到了 79 艘),设定码头岸线长度为 700 m 时,可以保证 91% 的渔船并列 4 排停靠在码头岸线上,符合渔港使用要求。从表 5 可见:设定码头岸线长度为 650 m,即每列可以停靠渔船 17 艘,渔船并列 4 排停靠,在来船数量最大的情况下,保证率只能达到 86%,岸线略显不足;设定码头岸线长度为 750 m,即每列可以停靠渔船 19 艘,渔船并列 4 排停靠,在来船数量最大的情况下,保证率高达 96%,岸线略显浪费。

由上述模拟计算结果可见,当渔船采取集中进出港作业方式时,码头的合理岸线长度为 700 m 较为适宜。综合统计分析 & 仿真模拟结果,中心渔港码头合理岸线长度取为 700 m 时较为适宜。同理可以得出,一级渔港码头合理岸线长度为 500 m。

表 4 码头岸线长度为 700 m 时渔船并列停靠的保证率

Tab. 4 Guarantee rate of fishing boats turn restriction in juxtaposition way at quay length of 700 m

码头长度/m length of quay	来船数量/(艘·d ⁻¹) total number of arrived fishing boat	百分比/% percentage	时间/d time	并列 2 排保证率/% rate of apposing two column	并列 3 排保证率/% rate of apposing three column	并列 4 排保证率/% rate of apposing four column
700	33	0.15	0.4	100	100	100
	44	9.5	26	80	100	100
	45	12	33	80	100	100
	54	54	147	67	100	100
	60	19	51	60	90	100
	66	4.8	13	55	82	100
	79	0.056	0.15	46	68	91

表5 码头岸线长度为650、750 m时渔船并列停靠的保证率

Tab. 5 Guarantee rate of fishing boats turn restriction in juxtaposition way at quay length of 650 m and 750 m

码头长度/m length of quay	来船数量/(艘·d ⁻¹) total number of arrived fishing boat	百分比/% percentage	时间/d time	并列2排保证率/% rate of apposing two column	并列3排保证率/% rate of apposing three column	并列4排保证率/% rate of apposing four column
650	33	0.15	0.4	100	100	100
	44	9.5	26	77	100	100
	45	12	33	76	100	100
	54	54	147	63	94	100
	60	19	51	57	85	100
	66	4.8	13	52	77	100
	79	0.056	0.15	43	65	86
750	33	0.15	0.4	100	100	100
	44	9.5	26	86	100	100
	45	12	33	84	100	100
	54	54	147	70	100	100
	60	19	51	63	95	100
	66	4.8	13	58	86	100
	79	0.056	0.15	48	72	96

参考文献:

- [1] Shabavek A A, Yeung W W. A simulating model for Kwai Chung container terminal in Hong Kong[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 140: 1-10.
- [2] Pidgeon E D. Modeling the effects of a transportation security incident upon the marine transportation system[D]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2008.
- [3] 石磊. 基于柔性靠泊的集装箱码头前沿作业系统仿真研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [4] 杨春霞, 王诺. 考虑柔性靠泊的集装箱码头合理岸线利用率分析[J]. *水运工程*, 2010(5): 93-97, 120.
- [5] Malavasi G, Ricci S. The sea-side port capacity: a synthetic evaluation model[J]. *Advances in Architecture Serues*, 2005 (19): 471-480.
- [6] 吕威. 基于柔性靠泊系统的集装箱码头岸线综合利用率研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [7] 桂劲松. 渔船随机到港分布规律的探讨[J]. *大连水产学院学报*, 1999, 14(3): 67-70.
- [8] 中国农业部渔业局. 渔港总体设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 33-34.
- [9] 桂劲松. 渔船待泊与泊位闲置费用比的确定[J]. *水运工程*, 1999(7): 47-51.
- [10] 桂劲松, 李胜德. 渔港卸鱼码头合理泊位利用率研究[J]. *海洋工程*, 2000(8): 51-56.

Establishment of quay length in fishing port construction standards

GUI Jin-song¹, WEN Zhi-chao¹, BI En-kai¹, CHEN Guo-qiang², WANG Gang²

(1. College of Marine and Civil Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Fishery Engineering Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China)

Abstract: Reasonable quay length that conforms to the actual operation for all levels of fishing port was studied by a method of statistical analysis and simulation, and the actual quay length of certain fishing port was statistically analyzed by 1305 sets of data about fishing port. The first level fishing port with 1/4, 1/2, 3/4, 1/3, and 2/3 share value have been obtained. The reasonable length in certain fishing ports and the first level fishing ports have been obtained by a software Arena to simulate working fishing boats, two different arriving operation procedure in the fishing port and many simulation experiments. The reasonable length of quay is shown to be 700 m for central ports, and 500 m for primary fishing ports based on the statistical and simulation results.

Key words: construction standard of fishing port; reasonable length of coastline; statistical analysis; simulation