



台州港龙门港区待泊、候潮锚位数量分析

刘春阳¹, 杜木子², 陈 琦¹

(1. 宁波中交水运设计研究有限公司, 浙江 宁波 315100; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 台州港龙门港区是台州港“一港六区”的重要组成部分, 受港区进港航道规模和等级限制, 大部分进出港船舶需要候潮。因此在设置龙门港区配套锚地时需统筹考虑待泊、候潮锚位数量。目前行业内尚无推荐性的候潮锚地锚位数量计算方法。根据相关研究成果及规范标准进行了龙门港区有关锚位的研究。采用排队论的理论分析方法, 对龙门港区锚地锚位数量进行综合测算, 得出了候潮为主(纯候潮或候潮+待泊)锚地锚位数量的设置方案。即在保证率一致的情况下, 锚位数量可以取待泊锚位数与候潮锚位数中的较大值。

关键词: 龙门港区锚地; 锚位数量; 候潮锚位

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0122-04

Number of anchoring points of waiting berth and waiting for the tide in Longmen Port Area of Taizhou Port

LIU Chun-yang¹, DU Mu-zi², CHEN Qi¹

(1. Ningbo China Communication Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315100, China;

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

Abstract: Longmen port area of Taizhou Port is an important part of Taizhou Port “One-Port Six District”. In the scale and level restriction of the approach channel, most of in-and-out port ships need to wait for the tide. Therefore, when setting up anchorages in the Longmen Port Area, both of the number of anchoring points for waiting berth and the number of waiting for the tide need to take into consideration. There is no recommended method to calculate the number of tide anchorage and anchoring points in the industry. This paper studies the anchoring points in Longmen Port Area according to the relevant research and standard. Using the theoretical analysis method of queuing theory, the number of tide anchorage and the number of anchoring points in Longmen Port Area are comprehensively measured, and the setting scheme of the number of tide anchorages (waiting for tide or waiting for tide+waiting berth) is obtained. That is to say, under the condition of consistent assurance rate, the number of anchoring points can take the larger of the number of waiting berth and waiting for the tide.

Keywords: anchorage in Longmen Port Area; number of anchoring points; anchoring points of waiting for the tide

龙门港区是台州港“一港六区”的重要组成部分^[1], 同时也是温岭市发展海洋经济的独特优势和载体。近年来随着龙门港区的整体开发稳步推进, 龙门港区泊位数量不断增加、港口吞吐量快速增长, 龙门港区进港船舶数量也明显增加。为了确保龙门港区的顺畅运行, 迫切需要建设配

套锚地, 以满足船舶作业的需求。

龙门港区主要生产性泊位受到港区自然条件和航道条件的限制, 主要船型需要乘潮进出港。在设计龙门港区锚地锚位数量时, 需要同时考虑锚地待泊、候潮的功能, 统筹协调锚地的总体规模, 合理设置锚位数量。

关于锚位数量计算方法,《海港总体设计规范》^[2]和《海港工程设计手册》^[3]均提出锚地的规模可根据反映船舶到港规律的排队论模型进行计算。这种模型认为船舶到港规律及船舶在港作业时间遵守一定的数学分布,可以通过在港船舶保证率及泊位数量推算锚位数量,但只适用于计算待泊锚位数量。关于候潮锚地的锚位数量,目前行业内尚无权威性的计算方法。

对于候潮锚地锚位计算问题,连石水等^[4]认为候潮锚地锚位数与潮汐特征、航道管理及船舶到港时间规律等因素有关;曾建峰等^[5]在条帚门外锚地工程设计中,根据预测每日乘潮到港船舶流量配置候潮锚位。

本文从龙门港区实际条件和锚地待泊、候潮功能出发,提出了兼具待泊、候潮功能锚地锚位数量的设计方法和以候潮为主(纯候潮或候潮+待泊)锚地锚位数量的设置方案,可为类似锚地工程设计提供参考。

1 龙门港区现状条件

龙门港区主要业务集中在龙门港务公司,共有3个码头泊位,泊位总长328 m,可满足1艘3 000吨级和2艘2 000吨级船舶同时停靠要求。2017年,因业务发展需要,码头等级由3 000吨级提升为减载靠泊5 000吨级船舶。龙门港区主要到港船型以5 000吨级及以下散货、杂货及集装箱船为主。

航道条件方面,目前龙门港区进港航道为港区北侧九洞门航道,航道宽度为70 m,海图最小水深2.95 m,仅满足在气象海况良好情况下3 000吨级设计船型和减载靠泊5 000吨级限定船型乘潮单向通航要求。龙门港区南侧进港航道工程正在建设中,该航道为减载5 000吨级单向航道,航道宽100 m,海图水深7.6 m,保证率90%的乘潮水位为4.23 m(当地理论最低潮面)。该航道建成后,龙门港区将拥有开展夜航的条件。

2 待泊锚位数量的确定

根据国内外大量的资料证实,船舶到达符合

泊松分布,我国日照港、大连港、天津港、秦皇岛港、青岛港、上海港等港口的船舶到达均遵从泊松分布。每艘船在港装卸服务的时间则遵循负指数分布、K阶爱尔兰分布或定长分布。根据此前提,龙门港区待泊锚位数量的计算可以采用《海港工程设计手册》中推荐的M/M/S排队论模型计算,其表示的是:船舶到达为泊松分布,占用码头时间为负指数分布,泊位数量为S个。

假定 λ 为平均每天到达的船舶艘数、 $1/\mu$ 为平均每条船占用泊位的时间(d), $a=\lambda/\mu$ 为平均每天被利用的泊位数, $P=\frac{\lambda}{S\mu}$ 为平均泊位利用系数,则在港有n艘船(包括港内和锚地)的状态概率为 P_n ,港内无船的状态概率为 P_0 :

$$P_n = \begin{cases} \frac{a^n}{n!} \cdot p_0 & (0 \leq n < S) \\ \frac{a^n}{S! S^{n-S}} \cdot P_0 & (n \geq S) \end{cases} \quad (1)$$

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{S-1} \frac{a^j}{j!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \quad (3)$$

令在港出现n艘船的保证率 Q_n 为:

$$Q_n = \sum_{i=0}^n P_i \quad (4)$$

因此可以设置保证率,求出相应在港(包括港内和锚地)船舶艘数n,则锚地待泊锚位数 A_n 为:

$$A_n = n - S \quad (5)$$

根据龙门港务公司2019年3月—2020年3月船舶到港的情况分析,平均每天到港船舶1.97艘、平均每艘船占用泊位0.89 d,为达到锚地建设成本与港区生产效率的最佳匹配,可在保证率90%~99%范围内取值。本工程令 $Q_n=95\%$,计算得到船舶艘数为6艘,即需要3个待泊锚位。

3 候潮锚位数量的确定

3.1 候潮锚位数量的理论计算方法

关于候潮锚地的锚位数量,目前行业内尚无权威性的计算方法。在通常情况下,由于候潮船舶靠船的频率较低,一般不需要考虑候潮船舶乘潮进港后等待泊位的情况。可以认为候潮锚位数

量主要受船舶到港规律和潮汐特征的影响，忽略船舶在港装卸时间和泊位数量的影响。另外还需考虑夜间航行管理要求的影响，当航道允许夜间通航时，一般只要潮位合适，船舶即可于夜间进出港；如果不允许夜航，夜间来船需要更长时间等待。

综上，候潮锚地锚位数应综合考虑潮汐特征、航道乘潮保证率、航道管理、乘潮船舶数量及船舶到港时间规律等因素，候潮锚地锚位数 M_{ω_1} 及在港乘潮船舶的保证率 Q_{ω_1} 为：

$$M_{\omega_1} = \omega_1 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \quad (6)$$

$$Q_{\omega_1} = \sum_{k=0}^{\omega_1} P(k) \quad (7)$$

式中： ω_1 为保证率 90%~99% 时对应在港乘潮船舶数量； ε_1 为潮汐特征影响系数； ε_2 为航道夜航管理影响系数； Q_{ω_1} 为在港有 ω_1 艘乘潮船舶的保证率，即到港少于和等于 ω_1 艘乘潮船舶的概率之和，参照待泊锚地锚位数计算时保证率，取 90%~99%； $P(k)$ 为在港有 k 艘乘潮船舶的状态概率。

其中 ε_1 与根据逐时潮汐数据统计分析得到的保证率 90% 的连续不能乘潮进出港时间 t 有关， $\varepsilon_1 = t/24$ ，当 $t \leq 24$ h 时 ε_1 取 1.0；当进港航道允许夜航时， ε_2 取 1.0，当进港航道禁止夜航时 $\varepsilon_2 = 1 + 12/t$ ，当 $t \leq 24$ h 时 ε_2 取 1.5。

为简化计算，取港区乘潮进出港船舶到港规律与港口所有船舶到港规律一致，服从泊松分布，则在港口有 k 艘乘潮船舶的状态概率 P_k 为：

$$P_k = e^{-\gamma} \cdot \frac{\gamma^k}{(k)!} \quad (8)$$

式中： γ 为平均每天到达的乘潮船舶艘数，应按乘潮船舶年运量、船舶的实际载货量、泊位年可运营天数等因素综合考虑。

3.2 龙门港区候潮锚位数量的计算

根据龙门港务公司 2019 年 3 月—2020 年 3 月船舶到港的情况分析，3 000 吨级及以下乘潮船舶每天到达约 1.27 艘；5 000 吨级乘潮船舶每天到达约 0.7 艘。令保证率 $Q_{\omega_1} = 95\%$ ，根据 3.1 节所述理论计算公式计算得到：3 000 吨级乘潮船舶 $\omega_1 = 3$ ，5 000 吨级乘潮船舶 $\omega_1 = 2$ 。根据龙门港区 2018 年全年潮位历时过程数据，统计得到潮位历时曲线见图 1。

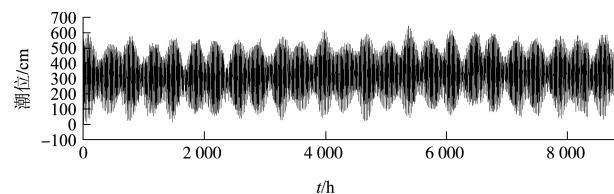


图 1 龙门港区 2018 年全年潮位历时曲线

船舶乘潮水位按龙门港区南航道乘潮历时 1.0 h、保证率 90% 的水位 4.23 m（当地理论最低潮面）分析，得到全年连续不能通航的时间及累计频率，见表 1，航道保证率 90% 对应的连续不能乘潮进出港时间 t 约为 12 h，取 $\varepsilon_1 = 1$ 。

表 1 龙门港区进港航道连续不能通航时间及频率

连续不能通航时间/h	累计频数	累计频率/%
<0	1 798	21
<1	2 429	28
<2	3 060	35
<3	3 691	42
<4	4 322	49
<5	4 953	57
<6	5 584	64
<7	6 213	71
<8	6 841	78
<9	7 389	84
<10	7 701	88
<11	7 817	89
<12	7 866	90
<13	7 908	90
<14	7 950	91
<15	7 991	91
<16	8 032	92
<17	8 073	92
<18	8 114	93
<19	8 155	93
<20	8 196	94
<21	8 237	94
<22	8 278	94
<23	8 315	95
<24	8 331	95

其中连续不能通航的时间在计算时应考虑到两种情况：

1) 当某一时间点 T_i ($i=1, 2, \dots$) 的航道水位 H_i 低于乘潮历时 N 的乘潮水位 H_N ，则 T_i 时刻的连续不能通航时间为第 1 次高于 H_N 且其后 N 内水位均高于 H_N 的时刻与 T_i 时刻之间的时差。

2) 当某一时间点 T_i ($i=1, 2, \dots$) 的航道水位 H_i 高于乘潮历时 N 的乘潮水位 H_N ，如果第 1 次航道

水位低于 H_N 的时刻在 N 之后, 则连续不能通航时间为 0; 否则 T_i 时刻的连续不能通航时间为第 1 次高于 H_N 且其后 N 内水位均高于 H_N 的时刻与 T_i 时刻之间的时差。

考虑到南航道开通后, 龙门港务公司码头已经具备夜航条件, 因此本锚地计算按允许夜间通航考虑, $\varepsilon_2=1$ 。因此 3 000 吨级及 5 000 吨级乘潮船舶所需锚位数量计算结果见表 2。

表 2 各船型所需候潮锚地锚位数量

乘潮船舶船型	$Q_{\omega_1}/\%$	ω_1	ε_1	ε_2	M_{ω_1}
3 000 吨级	95	3	1	1	3
5 000 吨级	95	2	1	1	2

根据上述计算结果, 3 000 吨级及以下普通货船需 3 个乘潮锚位, 5 000 吨级及以下普通货船需 2 个乘潮锚位。经过与龙门港区目前实际候潮锚位需求的对比, 认为本文所应用的理论计算方法能够较好地体现候潮锚位的需求。

4 锚泊综合需求分析

本文所研究的龙门港区配套锚地除了待泊、候潮作用外, 还考虑外轮及大型船舶引航的使用需要。考虑到引航与候潮、待泊常常为同一连续的过程, 而候潮、待泊锚位设置的保证率均取 95% 的较大值, 因此可不单独设置引航锚位, 与待泊锚位、候潮锚位共用。

综合以上论述, 龙门港区配套锚地锚位数量将主要由待泊锚位和候潮锚位二者共同确定。待泊锚位与候潮锚位计算中, 到港船舶规律均遵循泊松分布, 且船舶到港(在港)保证率均取 95%, 考虑到大部分主力到港船型(3 000 吨级与 5 000 吨级)均须乘潮, 进锚地船只基本均以候潮为主(纯候潮+候潮且待泊), 纯待泊发生概率较小, 因此在保证率一致的情况下, 锚位数量考虑取待泊锚位数与候潮锚位数中的较大值, 即候潮锚地锚位数量。

根据理论计算, 龙门港区配套锚地所需待泊锚位计算值为 3 个, 所需候潮锚位计算值为 5 个, 因此锚地总锚位定为 5 个, 其中 3 000 吨级及以下普通货船锚位 3 个、5 000 吨级及以下普通货船锚位 2 个。

5 结语

1) 通过采用排队论模型及连石水等对候潮锚位数量研究公式进行综合分析, 得出了龙门港区配套锚地所需待泊锚位和候潮锚位计算值, 总锚位数量取待泊锚位及候潮锚位计算值中的大值, 为 5 个。

2) 由于规范及设计手册中所列锚位计算方法仅适用于计算待泊锚位数量, 无法为候潮锚位数量的计算提供依据。通过龙门港区配套锚地的实际案例分析, 验证了锚地所需候潮锚位数量可根据综合考虑船舶到港规律、潮汐特征、航道管理等因素的公式 $M_{\omega_1} = \omega_1 \varepsilon_1 \varepsilon_2$ 计算确定。

3) 本文可以为龙门港区配套锚地的锚位数量的确定提供依据, 减少锚地过度建设造成资金浪费, 同时可以降低锚地建设过少带来的船舶作业风险。龙门港区配套锚地在后期实际运营过程中, 可考虑到港船舶实际情况及锚地使用情况, 进一步评估锚位数量的合理性, 并预留后续拓展锚位数量的条件。

4) 本文可为港口锚位的计算提供参考。对于同时拥有待泊及候潮功能的锚地, 锚位数量应由待泊锚位和候潮锚位二者共同确定, 对于进锚地船只以候潮为主(纯候潮或候潮+待泊)的锚地, 在保证率一致的情况下, 锚位数量可以考虑取待泊锚位数计算值与候潮锚位数计算值中的较大值。

参考文献:

- [1] 交通部规划研究院.台州港总体规划(2017—2030)[R].北京: 交通部规划研究院, 2017.
- [2] 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.
- [3] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港工程设计手册[M].2 版.北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [4] 连石水, 卢永昌, 孙继斌, 等.海港候潮锚地锚位数计算[J].水运工程, 2020(11): 78-81, 93.
- [5] 曾建峰, 郭天润.宁波舟山港条帚门外锚地工程设计[J].水运工程, 2020(7): 88-93.