



# 30万吨级原油码头泊位 利用率和通过能力分析

孙红彦, 李艺颖

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 利用排队理论, 将每吨原油总费用最小作为决策目标, 通过分析不同建设费用时30万吨级原油码头泊位利用率和船舶与泊位总费用之间的关系, 提出了30万吨级原油泊位利用率范围以及通过能力。

**关键词:** 30万吨级原油码头; 排队论; 单位质量最小费用; 泊位利用率; 通过能力

中图分类号: U 652.1<sup>+</sup>4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0062-03

## Analysis of utilization and throughput of 300 000 DWT crude oil terminal

SUN Hong-yan, LI Yi-ying

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** Using the queuing theory and taking the minimum total cost per ton as the decision-making objective, this paper puts forward the reasonable range of utilization and throughput of 300 000 DWT crude oil terminal by analyzing the relationship between the utilization and total cost of ship in the port and operating cost.

**Key words:** 300 000 DWT crude oil terminal; queuing theory; minimum total cost per ton; utilization; throughput

目前30万吨级原油码头设计通过能力一般采用《海港总平面设计规范》和《液体石油化工产品码头装卸工艺规范》中的相关公式测算, 参考30万吨级原油码头实际营运情况, 通过选择计算参数, 控制在2 000万t/a以内。

本文利用排队理论, 以单位质量原油总费用最小作为决策目标, 提出30万吨级原油码头泊位利用率的合理范围及相应的通过能力。

### 1 30万吨级原油船到港规律

船舶随机到港, 船舶作业占用泊位的模式也具有随机性。假设船舶到港时, 所有泊位都已停满, 到港船舶依次排队待泊, 泊位一空闲, 船舶依次立刻靠泊作业, 作业结束即离开泊位。货源充足船舶不断到达, 船舶在港内排队概念见图1。

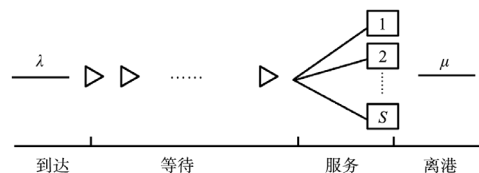


图1 船舶在港动态图

对于30万吨级原油码头, 特别是炼厂配套原油码头, 由于使用码头的船方、货主相对固定集中, 因而可以比较容易做到合理安排船舶到港, 随机性更多源于自然因素, 故一般认为船舶相继到港的时间间隔分布符合爱尔兰二阶分布, 采用 $E_2/E_2/S$ 模型。

目前国内30万吨级原油码头大多相距较远, 相对孤立, 没有形成如同成品油码头、件杂货码头等一样的“码头群”。因此, 这里仅分析1个30万吨级原油码头的情况, 即 $S=1$ 。此模型的计算见表1。

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 孙红彦(1972—), 男, 高级工程师, 主要从事油气储运设计的工作。

表1 30万吨级原油码头的 $E_2/E_2/S$ 模型

$\rho$	$T_w/T_b$	$\rho$	$T_w/T_b$
0.10	0.02	0.55	0.49
0.15	0.03	0.60	0.63
0.20	0.06	0.65	0.80
0.25	0.09	0.70	1.04
0.30	0.13	0.75	1.38
0.35	0.17	0.80	1.87
0.40	0.24	0.85	2.80
0.45	0.30	0.90	4.36
0.50	0.39		

注: 靠泊时间 $T_b$  ( $S=1$ ) 为从锚地出发到服务完毕时间, 包括卸船时间和辅助作业时间;  $T_w$ 为平均待泊时间。

## 2 港口和船舶发生的总费用的表达式

以 $c_b$ 表示泊位日营运费, 通过本泊位投资和港内设施投资总额分摊到本泊位的数额之和的近似估算。 $N$ 期间泊位总费用:

$$C_b = c_b NS \quad (1)$$

以 $c_s$ 表示船舶在港日均费用,  $N$ 期间船舶在港发生的总费用:

$$C_s = c_s N n_s \quad (2)$$

港口和船舶发生的总费用 $C_s^T$ :

$$C_s^T = C_b + C_s = c_b NS + c_s N n_s \quad (3)$$

式中:  $S$ 为码头数量;  $N$ 为港口营运期, 通常为365 d;  $n_s$ 为泊位数为 $S$ 时,  $N$ 期间内平均在港船的艘次, 当 $N$ 为365 d时,  $n_s$ 便为完成任务量所需的船舶艘次;  $G$ 为码头装卸量, 则将单位质量总费用 $C_s^T/G$ 为泊位利用率的决策目标。

## 3 30万吨级原油码头单位质量港口和船舶总费用模型

### 3.1 $T_w/T_b$ 与泊位利用率之间的关系式

表1中已经列举了 $S=1$ 时泊位利用率0.1~0.9的情况下, 单个泊位平均待泊时间 $T_w$ 和平均靠泊时间 $T_b$ 的比值, 可将其拟合成多项式、幂指数和乘幂等多种函数形式。

为提高拟合精度, 根据工程实际情况, 这里仅拟合泊位利用率[0.3,0.75]区间范围内的数据。同时, 为方便求解, 将表中数据拟合成乘幂关系式如下:

$$T_w/T_b = 2.448\rho^{2.538} \quad (4)$$

为方便记为:

$$T_w/T_b = T(\rho) \quad (5)$$

### 3.2 拟合曲线误差分析

根据拟合关系式, 计算出不同泊位利用率时的 $T(\rho)$ 值, 并与表1中数据比较, 具体结果见表2。

表2 不同泊位利用率的 $T(\rho)$ 值

$\rho$	$T_w/T_b$	拟合值	误差
0.30	0.13	0.12	0.076
0.35	0.17	0.17	0
0.40	0.24	0.24	0
0.45	0.30	0.32	0.070
0.50	0.39	0.42	0.076
0.55	0.49	0.54	0.102
0.60	0.63	0.67	0.063
0.65	0.80	0.82	0.025
0.70	1.04	0.99	0.048
0.75	1.38	1.18	0.145

表2中数据显示, 最大偏差为14.5%, 对应泊位利用率0.75。而实际泊位利用率大于0.75时, 将出现严重的压船现象, 规范推荐最大值为0.7, 故在测算码头通过能力时, 泊位利用率取值很少超过0.7, 因此上述拟合曲线在工程上可以满足精度要求。

### 3.3 船舶在港总费用

显然,  $N$ 期间内船舶平均靠泊时间:

$$T_b = N\rho \quad (6)$$

则船舶平均待泊时间:

$$T_w = T_b T(\rho) = N\rho T(\rho) \quad (7)$$

根据相关资料, 30万吨级原油船日均费用约32万元。则 $N$ 期间船舶在港发生的总费用:

$$C_s = 32N\rho T(\rho) \quad (8)$$

港口年总费用可以通过年平均费用 $AAC$ 求得:

$$AAC = P(A/P, i\%, Y) + P_Y \quad (9)$$

式中:  $AAC$ 为年平均费用;  $P$ 为投资现值, 即码头投资总费用;  $(A/P, i\%, Y)$ 为等额现值因素;  $i$ 为年利率;  $Y$ 为码头使用期限(a);  $P_Y$ 为年营运费用。

船舶在港总费用表示为:

$$C_s^T = C_b + C_s = 32N\rho T(\rho) + P(A/P, i\%, Y) + P_Y \quad (10)$$

### 3.4 30万吨级原油码头单位质量总费用

根据规范，可以设定30万吨级原油船舶占用泊位时间为48 h，则不同泊位利用率时，原油船靠泊艘次为： $\frac{T_b}{2} = \frac{N\rho}{2}$ 。国际原油交易以50万桶为一手，每次交易量为50万桶的整数倍，这样可以计算出30万吨级原油船舶实载量约为24万t。则N期间内码头原油卸船量为：

$$G = 24N\rho/2 = 12N\rho \quad (11)$$

则，每吨原油港口和船舶总费用为：

$$P_G = \frac{32N\rho \times 2.448\rho^{2.538} + P(A/P, i\%, Y) + P_Y}{12N\rho} = 6.528\rho^{2.538} + \frac{P(A/P, i\%, Y) + P_Y}{12N} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (12)$$

### 3.5 单位吨总费用最小时泊位利用率

根据实际工程情况，式(12)在区间[0, 1]内会存在一个最小值，亦即拐点。式(12)对ρ求导，得到方程式：

$$P'_G = 16.568\rho^{1.538} - \frac{P(A/P, i\%, Y) + P_Y}{12N} \cdot \frac{1}{\rho^2} \quad (13)$$

令上式等于0，得到方程式的解便是单位质量总费用最小时对应的泊位利用率：

$$\rho = \sqrt[3.538]{\frac{p(A/P, i\%, Y) + P_Y}{198.82N}} \quad (14)$$

## 4 实例分析

目前已建大连新港30万吨级原油码头工程费用约5.3亿元、大连长兴岛30万吨级原油码头工程费用约1.2亿元、海南炼化30万吨级原油码头工程费用约3.6亿元、广石化华德30万吨级原油码头工程费用约1.8亿元、宁波大榭(二期)30万吨级原油码头工程费用约2.4亿元。因此，这里分析30万吨级原油码头工程费用分别为1.5亿元、3亿元、5亿元时，单位质量总费用与泊位利用率之间的关系。

利用式(14)，可以解得单位吨费用最小时对应的泊位利用率，计算结果见表3。

表3 30万吨级原油码头最小单位质量港口和

船舶总费用分析			
工程建设费用/亿元	泊位利用率	单位质量总费用/(元·t <sup>-1</sup> )	卸船量/(万t·a <sup>-1</sup> )
1.5	0.353	1.66	1 550
3.0	0.408	2.38	1 750
5.0	0.461	3.18	2 000

同时，利用式(12)，可以得到不同工程费用的不同泊位利用率对应的单位质量总费用，计算结果见表4。

表4 不同工程建设费用的不同泊位利用率对应的单位质量港口和船舶总费用 元/t

泊位利用率	工程建设费用/亿元		
	5	3	1.5
0.10	10.750	7.019	4.221
0.15	7.211	4.724	2.859
0.20	5.508	3.643	2.244
0.25	4.519	3.026	1.907
0.30	3.912	2.669	1.736
0.35	3.509	2.444	1.644
0.40	3.314	2.381	1.682
0.45	3.177	2.348	1.726
0.50	3.179	2.433	1.874
0.55	3.251	2.573	2.064
0.60	3.463	2.841	2.375
0.65	3.779	3.205	2.775
0.70	4.301	3.768	3.369
0.75	5.106	4.609	4.236
0.80	6.324	5.857	5.508
0.85	8.725	8.286	7.957
0.90	12.815	12.401	12.090

为便于观察，表4数据用泊位利用率与单位质量总费用关系表示(图2)。

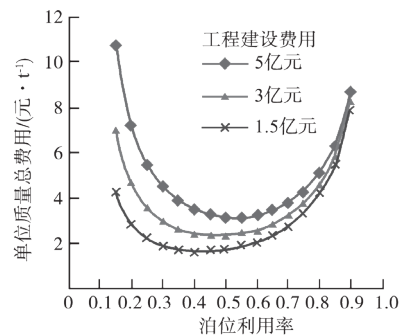


图2 泊位利用率与单位质量总费用关系