

文章编号:1006-7736(2009)02-0023-04

甲板驳船滚装大型货物压载水调节与搁浅计算*

肖建英

(中国远洋物流有限公司, 北京 100016)

摘要:为解决不同水文和码头条件下甲板驳船大型货物滚装上/下船问题,常常需要采用不同方法来调整驳船的姿态.通过对船舶搁浅状态下的浮态分析,建立了搁浅与压载水调节共用模型,并通过受力平衡方程,提出了同时适用的计算方法.该方法可进行滚装实时和全程的压载水量、搁浅力等相关要素的计算,确定合适的驳船姿态调整方式.采用曲线拟合方法建立的驳船压载水量与重心的函数关系式,易于计算机程序的编制与运算.实例计算及应用验证了该方法的正确性.对内河和航道条件较差的沿海使用小驳船滚装超重货物的情况尤为适用.

关键词:甲板驳船;大型货物;滚装;搁浅;压载水调节

中图分类号:U661.2

文献标志码:A

Ballast water adjustment and Ro/Ro operation in neaped condition for heavy lifts cargoes

XIAO Jian-ying

(China Ocean Shipping (Group) Company Logistics, Beijing 100016)

Abstract: Different methods are usually used to adjust barge status when heavy lifts are discharged from the deck barge in different hydrological and jetty conditions. This paper established the balance equation of bearing force of roll-on/roll-off (Ro/Ro) operation, analyzed the different payload conditions in Ro/Ro operation and built the calculation method in neaped and floating conditions. The quantity of ballast water, sustaining force and other related factors could be calculated in Ro/Ro operation in real time, and the adjustment method for the barge status could be confirmed. The functional relation formula between quantity of ballast water and center of gravity were established by using curve-fitting method, which was easy to build the computer programs and calculation. Analytical calculation and application validate the correctness of the proposed method, which be very useful in analyzing the feasibility of Ro/Ro operation of the heavy lifts in the smaller deck barge in inland river and coast waters with poor waterway.

Key words: deck barge; heavy lifts; roll-on/roll-off (Ro/Ro); grounding; ballast water adjustment

0 引言

在沿海、内河等不同水文和码头条件下,为了确保甲板驳船大型货物滚装上/下船过程中驳船的姿态,常采用不同的姿态调整方法:压载水调节、搁浅或两者并用.目前,类似大件滚装方面的研究和实践多见于船舶的单纯浮态^[1-7]或单纯搁浅滚装,难以涵盖压载水调节与搁浅同时并用的滚装情况.在航道条件差,需要采用浅吃水驳船的沿海和内河,往往无法完成超大型货物的滚装.本文将压载水调节和搁浅计算相结合,通过船舶受力分析,建立搁浅与压载水调节并用模式下船舶的浮态受力平衡方程,提出同时适用的驳船姿态调整计算方法.针对常见的滚装,该方法可进行滚装实时压载水、搁浅力等相关要素的计算,确定合适的驳船姿态调整方法,并易于编制计算机程序进行运算.对于受限航道和码头,当需要使用较小驳船进行超大重量货物滚装时,该方法尤为适用.

1 滚装过程分析与计算

1.1 驳船受力平衡方程

图1为驳船采用搁浅与压载水调节方式进行大型货物滚装时的受力示意图.为保证滚装过程中吃水线不发生变化,除采用压载水调节外,同时在前下部(靠岸一侧)采用沙袋等软性支垫的方式进行搁浅.则驳船受力包括:驳船上的滚装荷载力 F_p ,其他货物或附件合力 F_w ,驳船自重 F_w ,驳船浮力 F_c ,前、后压载水重力 F_{c1} 、 F_{c2} ,支垫力 F_r .其中, F_c 为漂浮

* 收稿日期:2008-12-20.

作者简介:肖建英(1957-),男,陕西扶风县人,高级工程师. E-mail: xiaojy@cosco-logistics.com.cn.

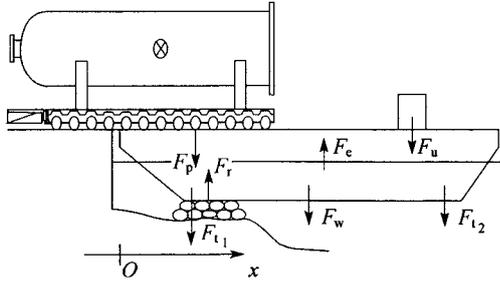


图1 搁浅与压载水调节滚装受力示意图

的底面以上船体排开水的重量. 由于船下部进行了沙袋等软性支垫, 当支垫部位压力增大到一定范围或有泥沙沉积, 底面会因失去水的作用力而丧失浮力. 通过分析可知, 浮力丧失只会引起驳船底部支垫力的变化, 而对船舶浮态和压载水调节没有影响. 从更安全的角度出发, 搁浅后底部按失去浮力处理. 设支垫宽度等于船宽, 则浮力 F_c 对应的排水体积 V_c 和浮心 x_c 分别为^[8]

$$V_c = \int_0^{L_1} A dx + \int_{L_2}^L A dx = \int_0^L A dx - \int_{L_1}^{L_2} A dx$$

$$x_c = \frac{\int_0^{L_1} x A dx + \int_{L_2}^L x A dx}{V_c}$$

$$= \frac{\int_0^L x A dx - \int_{L_1}^{L_2} x A dx}{\int_0^L A dx - \int_{L_1}^{L_2} A dx} \quad (1)$$

其中: A 为驳船水下各横剖面面积; L_1 、 L_2 分别为支垫开始点、结束点坐标; L 为船长. 式(1)也可看作合力公式. 由此可得, 如果在驳船上增加一个假想力 F_q (简称浮减力), 使其大小等于搁浅支垫面积上方的排水量, 方向向下, 即

$$F_q = \rho g \int_{L_1}^{L_2} A dx, x_q = \frac{\int_{L_1}^{L_2} x A dx}{\int_{L_1}^{L_2} A dx} \quad (2)$$

则驳船搁浅状态下的浮力 F_c 等于驳船全浮状态下的浮力 F_d 与浮减力 F_q 的合力. 为分析和计算方便, 以 F_d 和 F_q 取代 F_c . 据此建立的驳船受力模型如图2所示, 则驳船受力平衡方程为

$$\begin{cases} F_p + F_u + F_w + F_q + F_{t1} + F_{t2} = F_d + F_r \\ F_p x_p + F_u x_u + F_w x_w + F_q x_q + F_{t1} x_{t1} + \\ F_{t2} x_{t2} = F_d x_d + F_r x_r \end{cases} \quad (3)$$

1.2 方程的解与驳船姿态调整方式

驳船的浮态取决于驳船所受荷载^[9]. 滚装过程

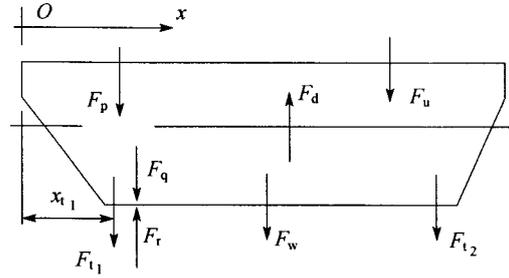


图2 驳船受力模型

中, 随着滚装荷载力大小和位置变化, 驳船可能出现前部搁浅和全浮两种状态. 与此对应受力平衡方程则有不同的解.

驳船前部搁浅时, 为减少支垫力, 前部应排空压载水, 而由搁浅力和后部压载水保持驳船平衡. 取 $F_{t1} = 0$ 代入式(3), 则可求出支垫力 F_r 和后部压载水重力 F_{t2} 的大小. 如果支垫力 $F_r > 0$, 则驳船确实处于搁浅状态, 计算结果与预设的一致, 计算有效; 如果 $F_r < 0$, 则表明支垫力变为拉力才能保持驳船平衡, 计算结果与预设的不一致, 计算无效. 该滚装实时应按浮态压载水调节问题处理.

对于全浮状态的驳船, 由前、后部压载水保持驳船平衡, 下部无需支垫. 取 $F_r = 0$ 和 $F_q = 0$ 代入式(3), 则可求出驳船前、后所需的压载水重力 F_{t1} 、 F_{t2} . 如果前部压载水重力 $F_{t1} \geq 0$, 计算结果与预设的一致, 计算有效; 如果 $F_{t1} < 0$, 则表明压载水变为拉力才能保持驳船平衡, 船下部需要支垫, 计算结果与预设的不一致, 计算无效. 该滚装实时应按驳船搁浅滚装问题处理.

1.3 搁浅滚装状态

取 $F_{t1} = 0$, 令

$$F = F_d - (F_p + F_u + F_w + F_q)$$

$$M = F_d x_d - (F_p x_p + F_u x_u + F_w x_w + F_q x_q)$$

代入式(3), 解得压载水重力和支垫力分别为

$$\begin{cases} F_{t2} = \frac{M - F x_r}{x_{t2} - x_r} \\ F_r = F_{t2} - F \end{cases} \quad (4)$$

其中: x_r 为支垫合力位置, $x_r = L_1 + s/2$, L_1 为支垫开始位置坐标, s 为支垫纵向长度; x_{t2} 为后端压载水合力位置. 压载舱可能为多个, 在压载水量、舱数未知时, 难以确定合力位置, 需进行反复计算. 首先, 将压载水全部压在驳船后端的第1个预选舱内, 计算支垫力 F_r 及后部压载水重力 F_{t2} ; 如果 F_{t2} 大于该舱

舱容量,则先将该舱装满,并将满舱水量 F_{C_i} 视为荷载加载在驳船上,剩余的水全部压在第 2 个预选舱,再计算第 2 个预选舱所需要的舱水量.以此类推,直到剩余的舱水全部装下.设压载水装满 m 个预选舱,各舱水量和重心位置分别为 F_{C_i} 、 b_i ($i = 1, 2, \dots, m$), 剩余舱水压在第 $m + 1$ 个预选舱,新预选舱的重心位置为 x_j , 以 F_j 表示新预选舱需要的舱水量,则式(4)可改写为

$$\begin{cases} F_j = \frac{M - \sum_{i=1}^m F_{C_i} b_i - (F - \sum_{i=1}^m F_{C_i}) x_r}{x_j - x_r} \\ F_r = F_j - F + \sum_{i=1}^m F_{C_i} \end{cases} \quad (5)$$

则驳船后部压载水合力为

$$F_{t_2} = \sum_{i=1}^m F_{C_i} + F_j$$

编制计算机程序,利用循环语句可方便求解.

有时,为减少搁浅支垫力而选择驳船船倾状态,这使得通过曲线拟合建立驳船浮心函数式比较困难,为此可将式(4)中的 M 改写为

$$M = F_d x_d + M_T - (F_p x_p + F_u x_u + F_w x_w + F_q x_q)$$

其中: x_d 为正浮状态下的浮心位置; M_T 为纵倾力矩(船倾为 +),按照纵倾值和驳船的每厘米纵倾力矩 MTC 计算.

1.4 全浮态压载水调解滚装状态

取 $F_r = 0, F_q = 0$, 令

$$F = F_d - (F_p + F_u + F_w)$$

$$M = F_d x_d - (F_p x_p + F_u x_u + F_w x_w)$$

代入式(5),得

$$\begin{cases} F_{t_1} + F_{t_2} = F \\ F_{t_1} x_{t_1} + F_{t_2} x_{t_2} = M \end{cases}$$

解方程组,得前、后压载水合力分别为

$$\begin{cases} F_{t_1} = \frac{M - F x_{t_2}}{x_{t_1} - x_{t_2}} \\ F_{t_2} = F - F_{t_1} \end{cases} \quad (6)$$

其中, x_{t_1} 、 x_{t_2} 分别为前、后端压载水合力位置(图 2). 如前所述,由于压水舱可能为多个,在初时难以确定,同样需要进行反复计算. 计算流程如图 3 所示.

通过以上分析可知,整个滚装过程中驳船的姿

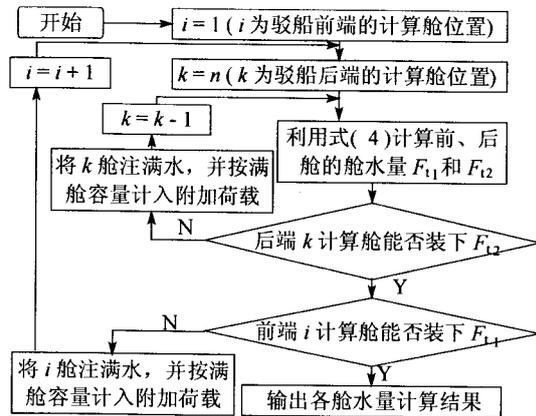


图 3 各舱水量计算流程图

态调整方式包括:

(1) 滚装全程搁浅. 滚装荷载从开始下船到全部下船, 全过程支垫力均大于 0, 驳船前部始终处于搁浅状态. 该方式常用于沿海有潮汐码头, 涨潮时驳船靠泊, 落潮时驳船搁浅滚装的情况.

(2) 全程压载水调节. 滚装荷载从开始下船到全部下船, 全程船前部压载水均大于 0, 驳船不需要搁浅, 船前、后部均采用压载水调节方式. 该方式常用于沿海航道和码头条件较好, 采用大尺度船型进行全浮状态滚装的情况.

(3) 一段时间搁浅, 一段时间压载水调节. 对于滚装下船方式, 开始时滚装荷载大部分作用于船上, 支垫力 $F_r > 0$, 需要搁浅. 当活载部分下船后, 计算得 $F_r < 0$, 前部需要注入压载水, 以防驳船抬起. 滚装上船时亦同理. 该方式常用于内河和沿海航道条件较差, 使用小尺度驳船进行超重货物滚装的情况.

由此, 滚装的可行性条件可确定为: ① 支垫引起的单位荷载力应小于驳船底部允许压力; ② 前、后部最大压载水量应分别小于前、后部所有压载水舱的满舱水量; ③ 压载水量不出现负值.

2 实例计算及应用

采用本方法设计的大件货物滚装上下船辅助决策系统计算机软件, 在天津子牙河上进行货物质量 910 t 加挂车质量 158 t 的滚装下船试验. 由于航道很浅, 采用长 67.1 m、宽 18.3 m、型深 4.27 m 的驳船. 不移动荷载(支墩) 质量 48 t, 依据码头前沿潮汐水位确定滚装下船时驳船吃水 2.3 m, 搁浅位置距码头 9.6 m, 搁浅长度 5 m, 船尾靠岸.

驳船压载水舱舱容表涵盖不同舱水深度下的舱水量和重心位置. 为便于计算, 采用 Matlab 进行曲线拟合, 建立各舱重心位置与压载水量的函数关系式.

对不同驳船各压载舱进行曲线拟合后发现,如果将驳船舱容表中相对于船纵中的压载水重心坐标全部转换为距离本舱后舱壁的坐标,则均可采用以下函数式进行曲线拟合,即

$$x_b = e^{a+bV+cV^2+dV^3}$$

其中: x_b 为压载水重心距本舱后端舱壁的坐标; V 为实时舱水容量; a 、 b 、 c 、 d 均为拟合系数.则各舱压载水重心相对于船尾坐标 x (图2)的曲线拟合通式为

$$x = s + e^{a+bV+cV^2+dV^3} \quad (7)$$

其中: s 为计算舱后舱壁距船尾距离.对实例驳船各舱进行曲线拟合后得到的各系数值见表1.

表1 压载水重心曲线拟合公式系数

| 舱位 | 系数 | | | | s/m | V_{max}/m^3 |
|---------|--------|-------|-------|------|-------|---------------|
| | a | b | c | d | | |
| 1 P,S | -2.43 | 4.07 | -0.53 | 0.73 | 61.00 | 49 |
| 1 C | -1.55 | 2.61 | -0.24 | 1.05 | 61.00 | 112 |
| 2 P,S | -21.83 | -6.78 | 1.84 | 2.79 | 51.85 | 202 |
| 2 C | 1.52 | 0 | 0 | 0 | 51.85 | 245 |
| 3~6 P,S | 1.52 | 0 | 0 | 0 | * | 234 |
| 3~6 C | 1.52 | 0 | 0 | 0 | * | 246 |
| 7 P,S | 33.08 | -9.11 | 0.68 | 0.64 | 6.10 | 221 |
| 7 C | 13.94 | -7.04 | 0.47 | 2.43 | 6.10 | 232 |
| 8 P,S | 6.71 | -1.29 | -0.01 | 1.31 | 0 | 75 |
| 8 C | 2.65 | -1.29 | -0.01 | 1.85 | 0 | 82 |

注:*表示2~7舱舱壁间隔均为9.15 m,以此计算相应舱的s;P、S、C分别为左、右、中舱; V_{max} 为各舱最大压载水量.

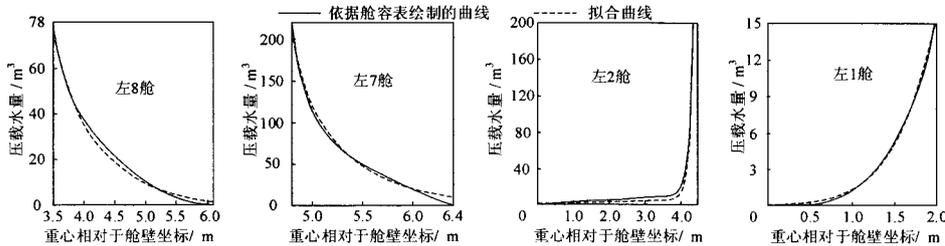


图4 压载水量 - 重心曲线

| 压载水调节滚装计算报告 | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|
| 计算范围: 适航由航位位置到全部下船 | | | | | | | |
| 船滚装方式: 滚装 | | | | | | | |
| 单位: m, kN | | | | | | | |
| 位置 x | 支垫力 R | 艏合力 ForeF | 艉合力 RearF | 位置 x | 支垫力 R | 艏合力 ForeF | 艉合力 RearF |
| +15.0 | 0 | 916 | 2777 | -12.0 | 2724 | 0 | 7826 |
| +12.0 | 0 | 298 | 3396 | -15.0 | 0 | 92 | 8052 |
| +9.0 | 395 | 0 | 4088 | -18.0 | 0 | 700 | 8334 |
| +6.0 | 3308 | 0 | 4650 | -21.0 | 0 | 1259 | 8644 |
| +3.0 | 4070 | 0 | 5612 | -24.0 | 0 | 2070 | 8743 |
| +0.0 | 4832 | 0 | 6374 | -27.0 | 0 | 2898 | 8806 |
| -3.0 | 4461 | 0 | 6932 | -30.0 | 0 | 3837 | 8757 |
| -6.0 | 3905 | 0 | 7227 | -33.0 | 0 | 4831 | 8652 |
| -9.0 | 3247 | 0 | 7558 | | | | |

图5 滚装卸船全程计算结果

排、艏部加压载水的方式恢复驳船水平.当艉部压载水排空时,驳船艉部将下沉自动进入搁浅状态(B→C),这时只需给艏部加压载水.当挂车继续下船(C→D),测量将会显示驳船上浮,又需给艉部加压载水.实例表明,滚装卸船过程各阶段的转换和各压

载舱实时水量与计算完全一致,验证了方法与计算的正确性.

利用舱容表绘制的左1、2、7、8舱的水量 - 重心位置曲线如图4所示.由图4可知,依据舱容表绘制的曲线与拟合曲线吻合很好.

计算机软件采用如下方法确定压载水量 F_i :先取满舱容时的重心位置计算压载水量,如果压载水量小于舱容,则利用式(7)计算该水量下的重心位置,再利用式(5)计算压载水量,直至新计算的压载水量与前一次非常接近.

采用计算机软件计算滚装下船过程中当挂车行驶到船边时,艏部压载水合力为6374 kN,艉部压载水合力为零,驳船下方支垫力为4832 kN.图5为驳船滚装卸船全程计算报告.图中为挂车第1轴相对于船尾端坐标,“+”表示船上,“-”表示船下.

将图5中的支垫力(F_r)、艉合力(F_{t1})、艏合力(F_{t2})绘制成图6所示的曲线,可以看出滚装卸船过程中不同的船舶调节方式:当挂车由装载位置行驶至接近船尾约9 m之前(A→B),搁浅支垫力 $F_r = 0$,压载水重力 $F_{t1} > 0$,属于压载水调节滚装模式;

当挂车继续下船(B→C), $F_{t1} = 0$, $F_r > 0$,属于搁浅与压载水调节滚装模式;当挂车10轴(轴距1.5 m)下船后(C→D), $F_r = 0$, $F_{t1} > 0$,属于压载水调节滚装模式.

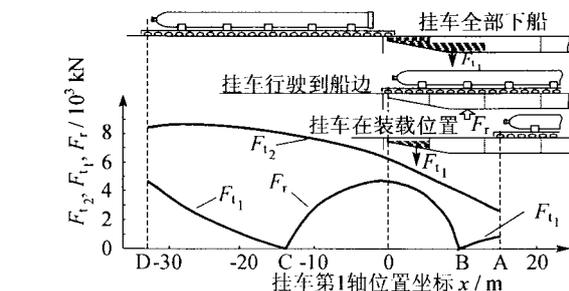
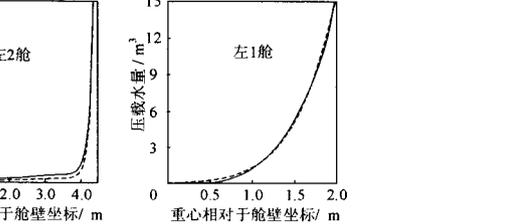


图6 滚装卸船过程压载水重力与搁浅力曲线

3 结 语

(1)本文提出在不同水文条件下驳船滚装时,采用搁浅或压载水调节等方式调节驳船姿态的计算方法和判定条件.

(2)采用曲线拟合方法建立的驳船压载水重力与重心的函数式,易于编制计算机程序进行运算.

(3)通过滚装时对驳船姿态的测量,可实时控制并进行不同驳船姿态调整方式的转换.

参考文献(References):

- [1]沈 华,刘培学.船舶浮态的计算[J].大连海事大学学报,2004,30(3): 18-20.
- [2]TURNBULL S R, DAWSON D. Dynamic behaviour of flexible semi-trailers on board Ro-Ro ship[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1999, 41 (12): 1447-1460.
- [3]TURNBULL S R, DAWSON D. Securing of rigid semi-trailers on roll-on/roll-off ships[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1997, 39(1):1-14.
- [4]BANKIM M, CURTIS L. Floating or fixed dock for RO/RO ship operations[C]// Port' 92 Conference. New York: ASCE Publications, Ports 92, 1992: 709-722.
- [5]EDINBERG D, BACK K, Mc VEIGH J. Modeling and simulation in the sealift program[J]. Naval Engineers Journal, 1996, 108(6): 27-39.
- [6]杨艳芳,张 园,胡吉全.港口起重机滚装方案仿真优化设计[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2007, 31(4): 716-718.
- [7]吴广怀,李 跃,沈 庆.滚装重荷载应急卸载过程的浮基多体系统动力学分析[J].船舶力学,2003, 7(6): 37-46.
- [8]蒋维清.船舶原理[M].北京:人民交通出版社,1992:8-43.
- [9]孙承猛,刘寅东.船舶浮态计算的一种优化方法[J].大连海事大学学报,2006,32 (2):39-41.