

半载条件下矿砂船压载方案的设计

方琼林¹, 邵哲平¹, 潘家财^{1,2}

(1. 集美大学航海学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361011)

[摘要] 为防止半载情况下矿砂船在大风浪中因操纵性能差出现摇荡剧烈的现象, 以一艘半载 2×10^4 t 精铁矿的矿砂船压载方案设置为实例, 从船舶总纵强度校核和油耗效能等方面对部分压载和平行压载进行了比较。计算结果表明, 两种方案均满足船舶总纵强度的安全要求, 但部分压载方案的排水量较小, 能有效降低船舶油耗, 具有现实的推广意义。

[关键词] 矿砂船; 半载; 压载方案

[中图分类号] U 675.7; TP 391

Research on Two Ballasting Schemes for Ore Carriers in Half Laden Condition

FANG Qionglin¹, SHAO Zheping¹, PAN Jiakai^{1,2}

(1. Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. School of Information Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361011, China)

Abstract: In this paper, we choose the example of a 20000-dwt fine ore carrier to discuss its two ballasting plan schemes, namely partial and parallel ballasting, in order to prevent the ore carrier from danger in severe waves from dangers. The longitudinal strengths of the ship and fuel consumption performances are compared for those two ballast schemes. Calculations show that both schemes can satisfy the requirements of the safety of the ship in terms of the total longitudinal strength. However, the displacement of the ship is smaller in the partial ballasting scheme, hence increasing fuel consumption efficient. So this scheme is more practical.

Keywords: ore carrier; half load; longitudinal strength

0 引言

矿砂船在营运过程中, 除了满载和空载两种状况外, 常常还会碰到半载的情况。半载时矿砂船的平均吃水较小, 并且由于水尺计量的需要, 船舶离港时一般都保持前后平吃水的状态, 这就导致了半载船舶的艏吃水比同等条件下满载的艏吃水小得多。因此, 船舶在半载状况下的螺旋桨沉深很小, 操作性能较差, 极易受到大风浪的影响而出现螺旋桨空车和飞车现象^[1]。此外, 由于矿砂的货物特性, 矿砂船在装载(半载和满载)情况下重心低, 稳性过大, 在大风浪中横摇和纵摇剧烈, 不仅对船上人员工作生活带来极大不便, 同时, 船舶的结构安全将遭受极大的考验^[2]。向高边柜注入压载水在一定程度上可以改善船舶的稳性和吃水, 但压载水的注入一般存在两种选择, 1) 平行压载, 使船舶

[收稿日期] 2016-03-01

[修回日期] 2017-03-03

[基金项目] 福建省自然科学基金项目(2015J01214)

[作者简介] 方琼林(1978—), 男, 船长, 硕士, 从事海上交通工程研究。通信作者: 邵哲平(1964—), 男, 教授, 船长, 博士, 从事交通信息工程及控制、海上交通工程研究, E-mail: zpshao@jmu.edu.cn。

的艏艉吃水平行增加至期望值; 2) 选择部分压载舱室压载, 使艏吃水增加至期望值^[4]。这两种情况显然都可以调节吃水, 改善稳性, 但由于压载水的纵向分布显然并不相同, 两种方法给船舶结构的总纵强度带来的影响显然也不相同。下面从分析船舶的结构强度以及油耗、能耗方面入手, 对两种压载方案进行检验计算和比较, 以期船舶的实际操作提供参考^[5]。

1 船舶总纵强度校核

1.1 校核原理及校核方法

判断一艘营运船舶的总纵强度是否符合要求, 应通过适当的方法予以校核^[6]。船舶总纵强度校核的原理^[7]是将所校核剖面上实际承受的静水剪力和弯矩值与该剖面所允许承受的最大静水剪力和弯矩相比较, 只要前者不大于后者, 则认为强度满足营运安全要求。

然而对于中、小型船舶, 船舶资料中往往只给出船中剖面上的许用弯矩值, 在进行校核计算时, 只要计算表明船中剖面上实际所受静水弯矩小于许用弯矩值, 就可认为船舶纵向强度处于安全状态。

对于大型船舶, 船舶资料中通常会给出各横舱壁所对应的横剖面处的静水许用剪力和弯矩、波浪许用剪力和弯矩。校核中, 应分别计算各横舱壁所对应的横剖面处的剪力和弯矩, 并保证不超过相应的许用值^[8]。

船舶总纵强度校核的常见方法^[9]包括: 船中弯矩估算法、强度曲线图校核法、站面强度校核表法和总纵弯矩变形的吃水判断法等。其中, 中、小船舶主要使用船中弯矩估算法, 广泛使用的强度曲线图校核法实际上是从船中弯矩估算法演变而来的另一种形式, 站面强度校核表法适用于大型船舶剪力和弯矩的精确计算, 总纵弯矩变形的吃水判断法则是一种粗糙、简易的判断方法。

对于中、小船舶, 船中弯矩的估算可由式 (1) 确定:

$$M'_s = (W_h \cdot m + W_m \cdot x + \sum P_i |\bar{x}_i| - \Delta CL_{bp})/2. \quad (1)$$

式中: W_h 为包含舾装在内的船体质量; m 为船体质量的相当力臂 (m), $m = kL_{bp}$, 根据机舱位置的不同, 系数 k 分别取: 中机型 0.2277, 中后机型 0.2353, 艏机型 0.2478; W_m 为包括各种管系、轴系和螺旋桨在内的机舱设备质量 (t); x 为机舱设备的质量力臂; P_i 为第 i 项载荷的质量 (t), 包括货物、油水和船舶常数, 但不包含空船质量; $|\bar{x}_i|$ 为 P_i 的重心距船中距离的绝对值 (m); Δ 为计算状态下的船舶排水量 (t); C 为船体浮力的相当力臂系数; L_{bp} 为船舶的两柱间长。

船舶实际弯矩的具体算法和步骤^[10-11]如下: 1) 计算载荷质量对中力矩; 2) 计算空船对中力矩; 3) 计算浮力对中力矩; 4) 计算静水弯矩; 5) 估算弯矩和弯矩许用值的比较。

1.2 两种压载条件下船舶总纵强度估算

“* * 山”轮为艏机型船舶, $L_{bp} = 185$ m, 除去机舱设备的空船质量 $W_h = 10417$ t, 机舱设备质量 $W_m = 1533$ t, 重心距船中距 $x = -72.3$ m, 在海上状况下的船中许用弯矩 $M_s = 928\,955 \times 9.81$ (kN · m); 2013 年 12 月 13 日 20 航次由海南八所装载精铁矿 20 000 t 开往河北曹妃甸, 天气预报估计航程中将一路遭遇偏北大风。因此, 大副向船长提出了两种压载方案, 供其决策。

根据船舶资料, 平行压载方案下, 船舶排水量 $\Delta = 38\,723.6$ t, 相应的方形系数 $C_b = 0.813$, 相当力臂系数 $C = 0.209\,0$; 部分压载方案下, 船舶排水量 $\Delta = 35\,333.6$ t, 方形系数 $C_b = 0.801$, 相当力臂系数 $C = 0.206\,5$ 。“* * 山”轮属于中型船舶, 首先根据“* * 山”轮的货物、油水的分布以及有关船舶资料, 对其载荷对中力矩进行查表计算, 结果显示: 部分压载情况下, 载荷中前力矩为 504 707.5 (kN · m), 中后力矩为 -397 076 (kN · m); 平行压载情况下, 载荷中前力矩为 619 682.5 (kN · m), 中后力矩为 -375 797 (kN · m)。

1.2.1 部分压载条件下的船舶总纵强度估算

1) 计算载荷质量对中力矩:

$$\sum P_i |\bar{x}_i| = 504\,707.5 + 397\,076.0 = 901\,784 (\text{kN} \cdot \text{m})。$$

2) 计算船体质量对中力矩 $W_H \cdot m$ 和机舱设备对中力矩:

$$\text{船体质量对中力矩 } W_H \cdot m = 8884 \times 185 \times 0.2478 = 407\,269 (\text{kN} \cdot \text{m}) ；$$

$$\text{机舱设备对中力矩 } W_m \cdot x = 1533 \times 72.3 = 110\,836 (\text{kN} \cdot \text{m}) 。$$

3) 计算浮力对中力矩:

$$\Delta CL_{bp} = 35\,333.6 \times 0.206\,5 \times 185 = 1\,349\,832 (\text{kN} \cdot \text{m})。$$

4) 计算部分压载状态下的静水弯矩 M'_{s1} :

$$M'_{s1} = 9.81 \times (407\,270 + 1\,108\,363 + 901\,784 - 1\,349\,832)/2 = 5\,236\,504 (\text{kN} \cdot \text{m})。$$

5) 总纵强度比较:

$$M'_{s1} < M_s, \text{ 表明该装载状态的总纵强度满足要求。}$$

1.2.2 平行压载条件下的船舶总纵强度估算

1) 计算负荷质量对中力矩: $\sum P_i |\bar{x}_i|_{\text{前}} + \sum P_i |\bar{x}_i|_{\text{后}} = 619\,683 + 375\,797 = 995\,480 (\text{kN} \cdot \text{m}) 。$

2) 计算船体质量对中力矩和机舱设备对中力矩:

$$\text{船体质量对中力矩 } W_H \cdot m = 8884 \times 185 \times 0.2478 = 407\,269 (\text{kN} \cdot \text{m}) ；$$

$$\text{机舱设备对中力矩 } W_m \cdot x = 1533 \times 72.3 = 1\,108\,363 (\text{kN} \cdot \text{m}) 。$$

3) 计算浮力对中力矩:

$$\Delta CL_{bp} = 38\,723.6 \times 0.2090 \times 185 = 1\,497\,248 (\text{kN} \cdot \text{m})。$$

4) 计算压载状态下的静水弯矩 M'_{s2} :

$$M'_{s2} = 9.81 \times (407\,270 + 1\,108\,363 + 995\,480 - 1\,497\,248)/2 = 4\,973\,008 (\text{kN} \cdot \text{m})。$$

5) 总纵强度比较:

$$M'_{s2} < M_s, \text{ 表明该装载状态的总纵强度满足要求。}$$

通过以上的估算可以得出 $M'_{s2} < M'_{s1}$, 所以平行压载条件下的船舶总纵强度稍优于部分压载的船舶总纵强度^[12] , 但是两种压载方案都能够满足总纵强度安全要求。

2 两种压载条件下的船舶油耗与能效的比较

2.1 两种压载下的船舶油耗比较

根据船模实验, 螺旋桨的推力 T 与浸水面积 S 有如下关系

$$T = 0.5\rho SV^2 [C_{Ts}]_A / (1 - t_m) 。 \tag{2}$$

式中: ρ 为水密度; V 为船舶对水速度; $[C_{Ts}]_A$ 为船舶实际总阻力系数; t_m 为船模推力减额分数, 近似等于实船推力减额分数 t_s 。

当船舶载质量确定时, 船舶排水量的大小决定于压载水的多少, 因此, 减少压载水, 可以减小船舶吃水, 降低船体的浸水面积。

由式 (2) 可知, 在保持航速一定的情况下, 螺旋桨的推力和浸水面积成正比^[13]。尽管本文中的两种压载方案均满足船舶总纵强度的安全要求, 但在相同的艏吃水条件下, 部分压载方案压载水减少近 3400 t, 船舶的平均吃水减少约 0.9 m, 浸水面积减小约 380 m², 理论上该轮海上全速航行时, 每天可节约燃油 2 t^[14]。

2.2 两种压载下的船舶能效比较

“海军系数法”是指, 若母型船与设计船的主尺度比、船型系数、水下船体形状和相应速度比较接近, 则两者的海军系数相等。

$$C_E = \Delta^{2/3} \times v^3 / P_E 。 \tag{3}$$

其中: C_E 表示船舶的海军系数; Δ 为船舶排水量; v 是船舶的航速; P_E 为船舶航行的有效功率。现采用

“海军系数法”对矿砂船“* * 山”轮半载条件下两种压载状态下的船舶能效进行比较。在两种压载状态下,假设该船航速相同,则有:

$$P_{E_1}/P_{E_2} = (\Delta_1^{2/3} \times v_1^3)/(\Delta_2^{2/3} \times v_2^3) = \sqrt[3]{(35333.6/38723.6)^2} = 0.94。$$

说明在行船速度相同时,部分压载所需有效功率小于平行压载状态下的船舶。反之,倘若在船舶的有效功率相同时,部分压载的船速大于平行压载下的船速。

同时,在船舶压载状况发生改变的情况下,船舶的纵倾状态发生改变,由此产生的兴波阻力变化和螺旋桨沉升变化产生的阻力也会对船舶有相对较小影响。

因此,理论上部分压载方案比平行压载方案^[14]更经济。在本次矿砂船舶实际运营中,船舶采用部分压载方案,自海南八所至河北曹妃甸北,一路均遭受 7~8 级北到东北大风,但船员普遍反映船舶的摇晃没有其他矿砂船那样剧烈,生活环境有了极大地改善。

3 结束语

本文以一艘半载 2×10^4 t 精铁矿的矿砂船压载方案设置为研究实例,从船舶总纵强度校核和油耗效能等方面对半载条件下部分压载方案和平行压载方案进行了比较。结果表明,两种方案均满足船舶总纵强度的安全要求,但部分压载方案的排水量较小,能一定程度上降低船舶能耗,增加船舶营运效能,经济性高于平行压载方案。因此,在当前严峻的航运环境下,半载船舶通过部分压载来降低船舶燃油成本,增加船舶营运效能,具有一定的现实推广意义^[14]。

[参 考 文 献]

- [1] 杨新栋,王作超,石爱国,等. 舰船大风浪中航行最大允许航速计算模式研究 [J]. 船舶工程, 2014(2): 25-29.
- [2] 刘小健. 不同装载状态下船舶的操纵性能及推定研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 2-17.
- [3] 李耿. 小型登陆艇大风浪条件下航行风险评估系统研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [4] 江剑. 浅谈压载水调控管理 [J]. 中国水运, 2013(8): 30-31.
- [5] 邱文昌,吴善刚. 对船舶最佳压载方案编制问题的研究 [J]. 上海海运学院学报, 2001, 22(2): 4-8.
- [6] 何儒,郭峰,柳卫东. 改善 209000 吨 Newcastlemax 散货船总纵强度的研究 [J]. 船舶工程, 2014(S1): 23-25, 87.
- [7] 王少青,杜嘉立,徐邦祯. 船舶总纵强度的校核 [J]. 大连海事大学学报, 2003, 29(3): 61-64.
- [8] 尹群,管义锋,张延昌. 船舶静水剪力和弯矩的计算及分析 [J]. 造船技术, 2002(1): 13-16.
- [9] 徐邦祯,邱文昌. 海上货物运输 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008: 117-124
- [10] IVANOV L D. Assessment of the total ship's hull girder bending stresses when unified model of sagging and hogging bending moments is used [J]. Asme International Conference on Ocean, 2009, 54(4): 711-727.
- [11] 孙久龙,胡毓仁. 船体总纵极限弯矩计算的一种简化方法及程序开发 [J]. 船舶力学, 2001, 5(4): 38-46.
- [12] 黄树煌,林少芬. 船舶总纵极限强度可靠性分析 [J]. 舰船科学技术, 2011, 33(10): 50-53.
- [13] 姚青春,杨冬立. 谈集装箱船的合理配载以节约燃油 [J]. 航海技术, 2013, 203(5): 30-32
- [14] 苑毅. 船舶最低单位距离油耗及控制系统研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010: 4-14.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)