

Analysis of the Relationship between the Towing Slew Angle and Cable Stress

Wenjie Li, Qixin Gao

Dalian Maritime University, Dalian Liaoning
Email: liwenjie@dlnu.edu.cn

Received: Jun. 27th, 2017; accepted: Jul. 14th, 2017; published: Jul. 17th, 2017

Abstract

During the towing operations, towed vessels often slew. In order to study the relationship between towing slew angle and cable stress, the paper takes "DA DAN XIA" vessel as the example, under the stability of towed vessel, determines the relationship between towing slew angle and cable stress, and calculates the limit value of cable stress under the different slewing angle. Comparing with the cable stress on the tow vessel, the towing system can make a judgment for the safety of towing operations. The paper has practical significance for monitoring towing operations and ensuring the safety of towing.

Keywords

Towing, Slewing, Cable Stress

拖航偏荡角与缆绳临界张力关系分析

李文杰, 高启新

大连海事大学, 辽宁 大连
Email: liwenjie@dlnu.edu.cn

收稿日期: 2017年6月27日; 录用日期: 2017年7月14日; 发布日期: 2017年7月17日

摘要

拖航作业中, 被拖船经常发生偏荡。为了研究拖航偏荡角与缆绳临界张力的关系, 此文以某船为例, 在保证被拖船稳性的基础上, 确定了被拖船偏荡角度与拖缆张力之间的关系, 计算了各个偏荡角度下缆绳张力的极限值, 结合拖船上的缆绳张力显示的大小, 对拖带作业的安全做出判断。对于监测拖航作业, 保障拖航安全具有实际意义。

关键词

拖航, 偏荡, 缆绳张力

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放以来, 航运事业取得了巨大的发展。同时, 海上环境复杂多变, 海上事故也不可避免的发生着。海上拖带作业, 是在海上救助中经常对遇险船舶使用的救助方式。

拖带作业中, 受海况影响, 被拖船经常发生偏荡。偏荡是拖航系统在以一定速度航行时, 由于受到外界扰动的影响, 拖船和被拖船会在预定的航线左右偏荡, 从而威胁拖航安全, 降低营运效率。影响拖航系统偏荡的因素很多, 诸如拖航速度、拖带点在被拖船的位置、拖缆的长度、浅水和被拖船的装载情况等[1]。由于有缆绳拖带, 被拖船的偏荡会使缆绳张力对被拖船产生横向拖拽力, 从而对被拖船施加横倾力矩, 使被拖船产生横倾, 对被拖船的稳性产生影响。当偏荡角变大时, 横向拖拽力产生的横倾力矩就会变大, 被拖船会产生横倾而发生危险[2]。

本文以大丹霞轮为例, 结合船舶装载手册, 介绍了当船舶达到危险状态时, 缆绳横向拉力的计算方法, 以及缆绳张力的计算方法, 计算了被拖船偏荡角度与缆绳张力报警值之间的关系, 结合拖缆机的张力大小, 可以判断船舶是否处于危险状态。对于确定拖缆出缆长度, 确保拖带作业中被拖船的安全是十分必要的。这将为拖船救助人员和船舶驾驶人员提供安全拖带的理论依据。

2. 偏荡的产生

拖带作业中, 大部分被拖船或多或少都会存在艏摇现象, 它指的是被拖船艏向偏离预计航向, 在预计航向左右摆动的现象。艏摇通常是由被拖船船首或者船尾受海浪作用引起的, 艏摇本身并不是一个严重的问题, 然而大多数情况下, 艏摇会使被拖船的航迹偏离拖船的航迹, 造成被拖船的偏荡。根据经验, 被拖船船尾有较大上层建筑且船舶受横风影响时通常会产生偏荡。

被拖船的偏荡会使缆绳对被拖船的力方向发生改变这时缆绳的纵向拖带力会随着偏荡角度的增大产生一个横向的拖拽力, 船舶稳性良好时, 这种拖拽力产生的横倾力矩对被拖船的影响较小, 并不会造成危险[3]。但是如果拖带稳性较差的船舶或者其他水上设施时, 需要注意此力是否会使船舶产生横倾而引发危险。

3. 拖带作业中偏荡的危害

当拖带作业中发生偏荡时, 对被拖船进行受力分析, 被拖船所受缆绳张力 F 可分解为纵向的拉力和横向的拖拽力, 横向拖拽力会使被拖船产生偏荡, 出现以下危害:

1) 偏荡会增大拖缆所受的张力, 加剧拖缆的磨损和张力集中, 拖缆频繁被突然拉紧, 加大了拖带操纵的难度, 情况严重时会造成断缆事故; 偏荡还会造成拖带速度的降低, 增加船上人员工作量以及作业损耗。

2) 在救助难船的拖航作业中, 被拖船往往处于非正常状态, 比如操作受限或失控, 一旦出现偏荡现

象, 会引发更大的海上事故。

3) 在对作业平台、浮式储油船、驳船等大型被拖物实施拖航的大型远程拖航作业中, 偏荡带来的危害更是难以估量的。

4. 拖航偏荡角与临界缆绳张力关系的确定

偏荡会使缆绳对被拖船的力方向发生改变, 这时缆绳的纵向拖带力会随着偏荡角度的增大产生一个横向的拖拽力, 船舶稳性良好时, 这种拖拽力产生的横倾力矩对被拖船的影响较小, 并不会造成危险。但是如果拖带稳性较差的船舶或者其他水上设施时, 需要注意此力是否会使船舶产生横倾而引发危险[4]。

当拖缆横向拖拽力力矩做功大于或等于船舶稳性力矩做功时, 船舶处于危险状态, 有可能导致倾覆。根据达到危险状态下的 GZ 值, 即可算出使 GZ 达到危险值的缆绳横向拉力:

$$F = \frac{(GZ - lw_2) \cdot \Delta}{D - 0.5d}$$

式中: F 为缆绳对被拖船施加的横向力, t;

GZ 为复原力臂, m;

lw_2 为风压倾侧力臂, m;

Δ 为船舶排水量, t;

D 为型深, m;

d 为船舶吃水, m。

根据拖带作业当前的出缆长度、缆绳在水中的重量, 拖缆装置监测到的缆绳张力 T 与偏荡角之间的关系如下:

$$T = \sqrt{\left(\frac{1.1F}{\sin \theta}\right)^2 + \left(\frac{W \cdot L}{2}\right)^2}$$

式中: F 为缆绳对被拖船施加的横向力, t;

θ 为偏荡角度, °;

W 为水中缆绳重量, t/m;

L 为缆绳的出缆长度, m。

根据上式, 即可确定在拖航作业中某个偏航角度下, 使船舶处于安全状态的缆绳张力 T 的临界值。因此, 在拖航作业中, 船上人员可根据当前偏荡角, 时刻调整拖航参数, 如拖航速度、拖缆长度等, 使缆绳张力 T 小于临界值, 保障作业安全。

5. 实船计算偏荡角与临界缆绳张力的关系

根据本例中某船舶的船舶装载手册, 装载状态下船舶吃水 $d = 9.773$ m, 排水量为 36,796.84 t, 风压倾侧力臂 lw_2 为 0.103 m。查得其满载静稳性曲线如下图 1 所示。

同时查得复原力臂计算如表 1 所示。

按照要求, 当外力矩做功大于或等于稳性力矩做功时, 船舶处于危险状态, 有可能导致倾覆。利用 MATLAB 软件或者直接用 EXCEL, 根据上表中 GZ 的精确值, 可以较好的拟合出复原力臂曲线的函数, 并同时用 MATLAB 计算达到危险状态时, 即图中 a、b 两阴影区域面积相等时的 GZ 值。

通过 MATLAB 拟合的函数, 如图 2 所示。

经过与装载手册中给出的静稳性曲线图对比, 可以发现拟合的曲线与装载手册中提供的静稳性曲线基本一致, 因此计算结果也是可信的, 通过计算, 达到危险时 GZ 值应为 0.4635。则缆绳横向拉力为:

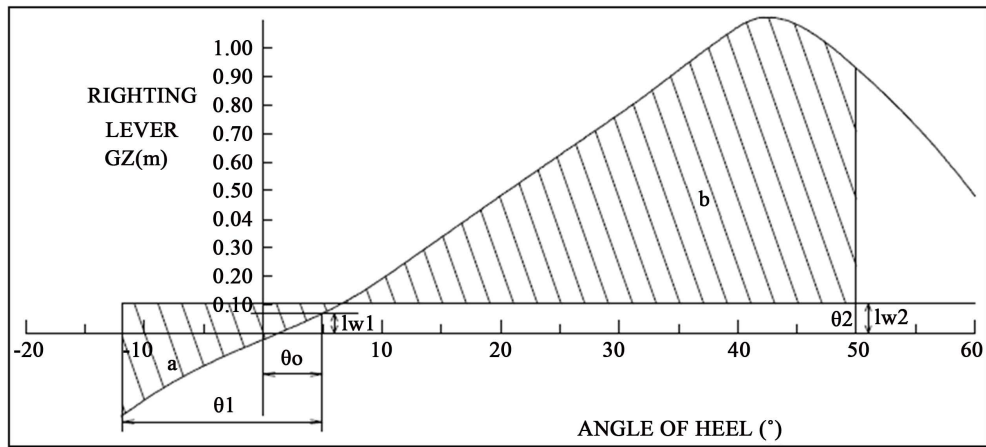


Figure 1. Curve: ship full loading static stability curve

图 1. 船舶满载静稳性曲线

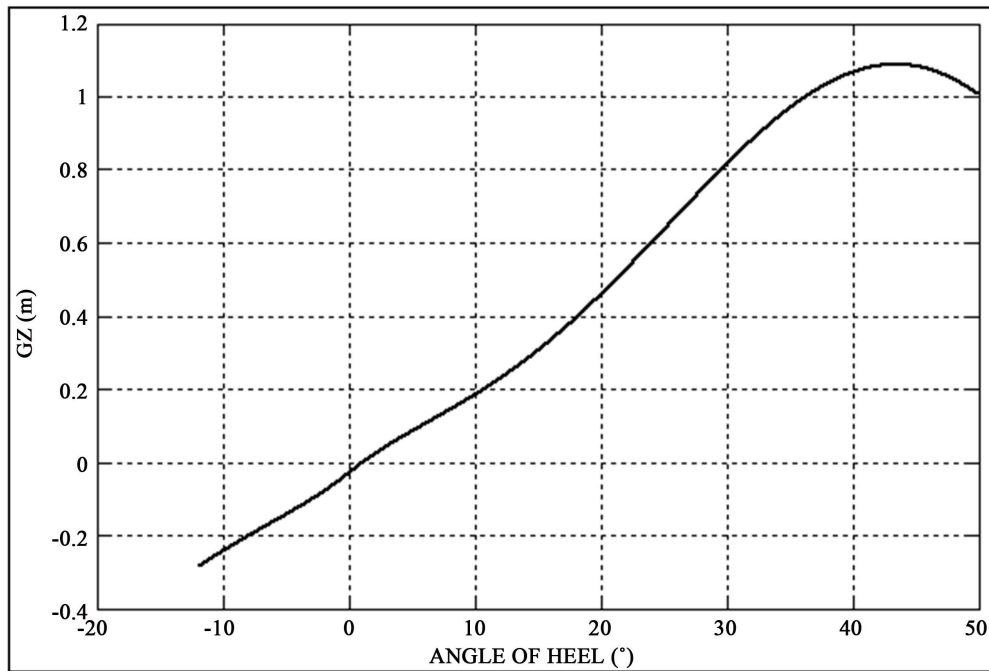


Figure 2. Curve: ship GZ curve

图 2. 船舶 GZ 曲线

Table 1. Ship righting level

表 1. 船舶复原力臂

θ (°)	0	10	20	30	40	50	60
KN	0.000	2.064	4.151	6.121	7.947	9.114	9.727
VCG*Sin θ + TCG*Cos θ	0.023	1.869	3.657	5.335	6.850	8.157	9.217
IFSM/Displacement	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Mfs/Disp.*Sin θ	0.000	0.006	0.012	0.017	0.022	0.027	0.030
GZ	-0.023	0.190	0.482	0.769	1.075	0.930	0.480

$$F = \frac{(0.4635 - 0.103) \times 36796.84}{14.2 - 0.5 \times 9.773} = 1424.3$$

假设航行水域水深足够, 当前出缆长度为 650 m。则按照前文中的计算方法估算缆绳自身阻力并考虑缆绳重力, 通过计算得到偏荡角度与缆绳张力的对应关系如表 2 所示。

作为驾驶员应当了解本船稳性较差时应如何通过计算, 利用张力监测设备避免这种危险。即通过上述方法, 首先查被拖船的资料求出复原力臂 GZ 的临界值, 再根据所求结果求取船舶此时受到的横向力大小, 转化成偏荡角度与监测到的缆绳张力之间的关系。这样在实际拖带作业的过程中, 驾驶员可以根据偏荡角度, 随时注意缆绳的张力变化, 预防缆绳对被拖船产生的横向拖拽力过大而使其产生倾覆的危险。

6. 影响拖航偏荡的因素

1) 拖航速度对拖航偏荡程度影响效果明显。随着拖航速度的增加, 拖船和被拖船的水动力都相应增大, 拖缆张力较大, 被拖船的航向变化减小, 拖航的偏荡程度减小。

2) 拖缆长度也会影响拖航偏荡的程度。拖缆较长时, 偏荡较为缓和, 但是偏荡的幅度较大; 缆长较短时, 偏荡的幅度小, 但是偏荡较为激烈。另外, 拖缆较长时, 拖缆的悬垂量较大, 拖缆承受的张力就会较大。因此, 在实际航行作业时, 应适当调整拖缆的长度。

3) 吃水差对拖航偏荡也有影响。被拖船的浮态对拖航航向稳定性影响明显。当被拖船首倾时, 被拖船的航向稳定性变差, 导致偏荡的幅度越来越大。同时, 拖缆承受的张力变化的幅度变大, 拖缆承受的瞬间张力较大, 不利于安全拖航。因此, 在航行前, 应适当调整吃水为尾倾, 这样可以减小偏荡的幅度, 提高航行的安全性[5]。

7. 减小偏荡的有效措施

当被拖船装载完成后, 被拖船的一些状态参量就不会再发生变化, 如船舶载况和控制器参数, 而风、流、水深等外界因素又不可人为改变, 因此, 为减小偏荡, 只能从改变拖航速度、拖缆长度、被拖船的浮态和悬挂漂浮物等方法来实现[6]。

1) 调整船速。如果不考虑流的影响, 并且拖缆强度足够的话, 可以考虑增加船速。如果拖缆强度不够的话应该考虑减速, 或采取其它应对措施。如果只是流的作用引起的偏荡, 那么就应该适当减速, 效果会很明显。

2) 调整拖缆长度。增加拖缆长度可以直接拉开与被拖船之间的距离, 缓冲拖缆上的张力, 避免了缆绳受到大的冲击, 就可以避免出现失控局面。如果被拖船是在可控范围, 并且缆绳强度足够, 也可以考虑缩短拖缆。虽然不能减小偏荡角度, 但可以控制偏荡幅度。

3) 调整被拖船浮态。调整被拖船首尾吃水, 使其成尾倾状态, 以增加其航向稳定性。尾倾吃水差的标准如表 3 所示。方形系数小的船舶, 尾倾吃水差还应该比表列数大一些。

4) 悬挂漂浮重物。在被拖船的尾部拖拽一漂浮物重物, 可增加航向稳定性。如果条件允许, 也可以两条拖轮一前一后进行拖带作业, 效果会更好。

Table 2. Relationship between towing slew angle and cable stress

表 2. 偏荡角度与缆绳张力对应关系

$\theta (^{\circ})$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T (t)	9022.4	4580.8	3133.4	2437.4	2045.2	1809.1	1667.2	1590.9	1566.7

Table 3. The standards of trim by stern
表 3. 尾倾吃水差的标准

船舶排水量(t)	尾倾吃水差(m)
<1000	0.3
1000~7000	0.6~1.0
7000~15,000	1.0~2.0
>15,000	1.2~2.4

8. 结语

基于被拖船装载状态得到拖带作业中被拖船偏荡角度与拖缆张力之间关系的计算方法, 并以此为基础分析影响偏荡运动的因素和抑制偏荡运动的措施。该方法简便易算, 方便船上操作人员采取预防和应急措施。本文不足之处在于, 只是结合装载手册对被拖船进行横稳性判断, 对船舶的抗风等级等未考虑在内。尽管如此, 本文的计算方法依然可以对拖带作业提供参考。因此, 在拖带作业中, 驾驶员要结合本船装载状态下的稳性, 根据当时本船偏荡程度, 计算出保证船舶安全的拖缆张力最大值, 对照拖船上的缆绳张力大小, 对拖带作业的安全做出判断, 进而采取相应的措施, 来保障拖带作业的安全进行。

参考文献 (References)

- [1] 梁康乐, 邓德衡, 黄国樑. 拖航系统操纵运动仿真[J]. 中国航海, 2007(2): 10-13, 29.
- [2] 李强. 拖航的运动建模与仿真[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2009.
- [3] 洪碧光, 李强, 高孝日, 吕巍巍. 拖航系统偏荡情况的仿真研究[J]. 中国航海, 2009(3): 106-111.
- [4] 王勇. 拖航偏荡力的一种近似估算方法[J]. 航海技术, 2016(5): 27-28.
- [5] 严似松, 黄根余. 拖航系统大偏荡模型试验[J]. 上海交通大学学报, 1996(10): 81-87.
- [6] 洪碧光. 船舶操纵[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2008.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org