

3000t 级近海油轮液舱晃荡研究

张干

(安徽省皖江船舶检验局, 安徽 芜湖 241000)

摘要:液舱晃荡是发生于部分充满液体容器内部的一类波动现象, 此类现象于船舶工程应用中普遍存在。而近年来, 随世界经济的发展, 对于油轮运输需求的增大, 远洋运输的需求不断增长, 所以在设计中考虑晃荡载荷就成为了设计油轮的一个必要需求。而油轮在航行过程中一旦出现漏油事故, 对于整个海域的生态环境将是毁灭性打击。针对以上突出问题, 本文采用一艘 3000t 级近海油轮作为研究对象, 依据《液舱晃荡载荷及构件评估指南 2014》对液舱参数及晃荡水平予以分级, 计算出船体横摇周期, 纵摇周期以及谐振幅值范围。完成该油轮水平一晃荡载荷, 水平二晃荡载荷和水平三晃荡载荷计算。

关键词:近海油轮; 液舱晃荡载荷; 构件尺寸

中图分类号: U66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0103—02

1 研究的背景和意义

随着海洋油气资源的不断开采, 船舶对于液化天然气和石油的运输距离在不断增加, 运输量也不断地提高^[1]。根据 ABS 船级社的数据可知, 从 2005 年到 2015 年, LNG 船数量的增长达到了每年 5%, 而超大液化船 (VLGC 船) 也随之出现^[2]。对于这类大运量的运输船而言, 液舱宽度更宽, 深度更深, 在航行过程中会发生更为激烈的晃荡, 舱壁及船体结构将在航行过程中不断受到冲击压力的影响^[3]。因此, 如何保证晃荡载荷在安全范围之内, 已经成为设计此类船舶的一个重点问题。

2 计算软件选取

舱内液体的晃动是由船在波浪上的运动激励所产生的, 舱壁上也会同时受到晃荡所产生的冲击力, 船舶的正常航行也会因此受到影响。Openfoam 是一个面向 CFD 的程序库, 此程序是由 C++ 进行编写的, 它计算的核心是根据有限体积法来解决偏微分方程。由于 Openfoam 的发放特性, 用户可以利用面向对象的程序以及完善的分层框架来开发新的模型和相应的求解器。对于液舱晃荡问题的研究, Openfoam 可以使用 interDyMFoam 中的两相网格求解器来求解 VOF 中捕捉到的自由液面。动态网格的有效处理在晃荡问题的研究中是不可缺少的, 而 Openfoam 实现了较为多样化的动态网格的类型, 对于晃荡问题中刚性边界移动这样的问题, Openfoam 都可以很好地进行处理运算, 所有的运动形式都可以被定义, 在晃荡的研究过程中提供了很好的模拟平台。

3 水平晃荡载荷计算

如表 1 所示即 3000t 级油轮 (双底双舷) 的主要尺寸:

表 1 双底双舷的主要尺寸

	基本参数	备注
总长	88.02m	
垂线间长	79.98m	
型宽	13.50m	
型深	6.00m	
设计吃水	5.20m	
货油舱舱容 NO.1~NO.4 货油舱 (P/S)	3397.7 m ³	型舱容
参考载货量	~3080.2t	$\rho=0.925\text{t/m}^3$

此次研究中我们仅选取水平一和水平三两种典型状态进行研究。

水平一准静态晃荡载荷是因为液面的变化然后在液舱上产生的压力。液体的静水压力可以由公式 $P = \rho gh$ 计算得到, 其中 h 为距离液面的深度, 因此, 水平一的载荷可以通过液面的方程得到。

如果是进行纵向的晃荡运动, 此时就要对装载的总体积 V 以及零介体积 V 进行计算。在计算总体积的时候需要考虑舱室的高度、舱室的形状来进行有效的计算。考虑 V 与 V 临的大小从而判断出液面的线性方程和液舱位置的具体交叉点, 这里利用等体积法进行计算:

$$V = \sum V1 + \sum V2 \quad (1)$$

其中, $V1$ 为类三棱柱体积, $V2$ 为类四棱柱的体积。

利用积分求得类三棱柱体积:

$$V1 = \int_0^{h2} \frac{1}{2} \left(\frac{a-c}{h2} \right) x + c + \frac{b-c}{h2} x + c \cdot h1 \frac{x}{h2} dx \quad (2)$$

其中: a , b 为下底梯形的上底和下底, $h1$ 为下底梯形的高, c 为平行于下底梯形的线段, $h2$ 为 c 与下底

梯形的距离。

类四棱柱体积计算公式为：

$$V_1 = \frac{(a+b+c)h_1h_2}{6} + \frac{(d+b+c)h_2h_3}{6} \quad (3)$$

其中：a, b 为上底梯形的上底和下底，h₁ 为下底梯形的高，c, d 为上底梯形的上底和下底，h₃ 为上底梯形的高，h₂ 为上底梯形和下底梯形的距离。

如果晃荡的运动为横向运动的时候，所运用到的计算方法和纵向的计算方法相似，这时需要分解总的面积和临界的面积，这样就可以得到液面的线性方程和液舱的具体交叉位置，可以简化，然后利用等面积的方法来计算结果。

再根据此计算结果选取最大横摇和纵摇下液面所达到的最大压力进行尺寸评估。舱室参数和有效晃荡长度和宽度如表 2 所示：

表 2 有效晃荡长度和宽度

θ (deg)	h_0 (m)	ϕ (deg)	DenDmax (t/m ³)	Den (t/m ³)	h (m)
38.45	0.9	23.20	0.88	0.88	6.195

θ ：最大横摇角； ϕ ：最大纵摇角；h：舱深； h_0 ：舱室最低点距基线距；DenDmax：部分装载时最大液货密度；Den：满舱装载最大液货密度。

水平一载荷的具体计算结果如下

表 3 水平一载荷计算

FL	h_f	h_{T1}	h_{L1}	p_{T1}	p_{L1}
5%	0.3098	2.35	2.70	23.00	25.99
10%	0.6195	2.35	2.70	25.67	28.66
15%	0.9293	2.35	2.70	28.35	31.34
20%	1.2390	2.35	2.70	31.02	34.01
25%	1.5488	2.35	2.70	33.69	36.68
30%	1.8585	2.35	2.70	36.37	39.36
35%	2.1683	2.35	2.70	39.04	42.03
40%	2.4780	2.35	2.70	41.72	44.71
45%	2.7878	2.35	2.70	44.39	47.38
50%	3.0975	2.35	2.70	47.06	50.05
55%	3.4073	2.35	2.70	49.74	52.73
60%	3.7170	2.35	2.70	52.41	55.41
65%	4.0268	2.35	2.70	55.08	58.08
70%	4.3365	2.35	2.70	57.75	60.75
75%	4.6463	2.35	2.70	60.42	63.42
80%	4.9560	2.35	2.70	63.09	66.09
85%	5.2658	2.35	2.70	65.76	68.76
90%	5.5755	2.35	2.70	68.43	71.43
95%	5.8853	2.35	2.70	71.10	74.10

FL：装载率； h_f ：装载高度； h_{T1} ：横向晃荡动压头； h_{L1} ：纵向晃荡动压头； p_{T1} ：横向晃荡载荷； p_{L1} ：纵向晃荡载荷；

水平一晃荡最大载荷	53.48	最大载荷对应装载率	95%	最大载荷对应充装高度	5.8853
-----------	-------	-----------	-----	------------	--------

对于水平三晃荡载荷而言：

表 4 液舱尺度和运动参数

参数	定义	单位	数值
l	舱长	m	12.6
b	舱宽	m	5.93
h	舱高	m	6.195
ρ	液体密度	t/m ³	0.88
T	激励周期	s	7.807
ϕ	激励幅值	deg	23.204

基于 openfoam 进行水平三纵向晃荡运动载荷计算，计算结果如表 3.5 所示。

表 5 水平三纵向晃荡运动计算结果

测点高度	压力 /kPa				
	FL=15%	FL=20%	FL=25%	FL=30%	FL=35%
2%	155.19	152.02	159.50	169.42	163.90
6%	156.86	148.39	160.21	160.28	157.15
14%	159.21	150.85	170.43	156.30	151.88
18%	152.41	156.31	165.14	156.90	149.60
38%	122.67	139.40	138.93	135.58	139.90
58%	108.70	123.00	118.78	122.50	125.83
74%	107.16	111.39	110.75	118.07	120.17
86%	107.75	120.97	111.17	117.97	121.83
98%	146.82	195.49	187.72	138.27	151.05

因此，横舱壁水平三纵向运动晃荡载荷最大值为 195.49kPa，内底板水平三纵向运动晃荡载荷最大值为 169.42kPa，甲板水平三纵向运动晃荡载荷最大值为 195.49kPa。

4 总结

本文根据 2014 年《液舱晃荡载荷及构件尺寸评估指南》的规定，目标油船后进行了液舱晃荡计算，并利用 openfoam 对水平三晃荡进行了计算，可知改装后的油船满足晃荡的规范要求。

参考文献：

- [1] 钱伯章, 朱建芳. 世界液化石油气的市场与应用进展 [J]. 天然气与石油 2008,26 (3)
- [2] 张晓霞, 天然气应用与节能减排 [J]. 河北工程大学学报: 社会科 2010,27 (001)
- [3] 王庆丰, 韩纯强, 李永正. LNG 运输船液舱围护系统安装平台强度衡准研究 [J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2013, 27(1):5-9.