

某钻井船的静水力特性和大倾角稳性及溢油计算

谢一凡¹, 张大朋^{1*}, 赵博文¹, 严 谨², 姜溟予³

¹广东海洋大学船舶与海运学院, 广东 湛江

²广东海洋大学广东省南海海洋牧场智能装备重点实验室, 广东 湛江

³广东海洋大学电信学院, 广东 湛江

收稿日期: 2024年1月15日; 录用日期: 2024年2月6日; 发布日期: 2024年4月18日

摘 要

钻井船是一种重要的海上油气开发装置, 对于开采海上油气资源有着重要的作用。对钻井船的静水力特性和大倾角稳性及溢油计算进行分析对于保障海上油气开采安全、促进海洋资源开发有着重要的意义。有鉴于此, 本文结合某钻井船的具体结构与参数, 对其进行了相关分析, 得到的结论对于具体实践有一定的指导意义。

关键词

钻井船, 静水力特性, 大倾角稳性, 溢油计算

Hydrostatic Characteristics, Large Angle Stability, and Oil Spill Calculation of a Certain Drilling Vessel

Yifan Xie¹, Dapeng Zhang¹, Bowen Zhao¹, Jin Yan², Haoyu Jiang³

¹School of Ship and Maritime, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

²Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Equipment for South China Sea Marine Ranching, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

³School of Electronics and Information Engineering, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: Jan. 15th, 2024; accepted: Feb. 6th, 2024; published: Apr. 18th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 谢一凡, 张大朋, 赵博文, 严谨, 姜溟予. 某钻井船的静水力特性和大倾角稳性及溢油计算[J]. 矿山工程, 2024, 12(2): 150-157. DOI: 10.12677/me.2024.122017

Abstract

Drilling vessels are an important offshore oil and gas development device, playing a crucial role in the extraction of offshore oil and gas resources. Analyzing the hydrostatic characteristics, large angle stability, and oil spill calculation of drilling vessels is of great significance for ensuring the safety of offshore oil and gas extraction and promoting the development of marine resources. In view of this, this article combines the specific structure and parameters of a certain drilling vessel to conduct relevant analysis, and the conclusions obtained have certain guiding significance for specific practice.

Keywords

Drilling Vessels, Hydrostatic Characteristics, Large Angle Stability, Oil Spill Calculation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

钻井船, 又称浮船式钻井平台, 是一种能够在水上钻井并位移的大型船舶。浮船式钻井装置船身浮于海面, 易受波浪影响[1] [2]。钻井船的排水量从几千吨到几万吨不等, 它既有普通船舶的船型和自航能力, 又可漂浮在海面上进行石油钻井。钻井船可简单分成 3 大基本部分, 钻井模块、动力模块、生活模块。钻井模块集中在钻井船中部, 主要因为动力定位系统和船舶稳性的影响, 水下设备和钻杆通过船中的开口的月池下放入水[3] [4] [5]。月池是一个在船体中间直通海水的开口, 也是钻采工作的通道。

本文对某钻井船的稳性进行分析。钻井船的几何参数如表 1 所示, 几何外形如图 1 所示。

Table 1. Parameters of drilling vessels

表 1. 钻井船几何参数

主尺度	设计水线长	船宽	吃水	排水体积	湿表面积	棱形系数 C_p	水线面系数 C_{wp}
钻井船	218.633 m	35.924 m	9.75 m	58261.52 m ³	9581.64 m ²	0.786	0.869

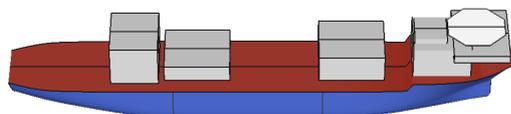


Figure 1. Geometric shape of drilling vessel

图 1. 钻井船的几何外形

2. 分析前的准备工作

2.1. 舱室定义

该钻井船内部的液舱主要有: 储油舱、污水舱、润滑油舱、柴油舱、船底水舱、钻井水舱等。储油舱顾名思义就是储存海底原油的舱室。柴油舱提供动力装置所需的燃料, 润滑油舱放置润滑油, 为螺旋桨传动轴提供润滑油。舱底水是钻井船在运营过程中, 船体里经常寄存的液体, 主要是水或含有少量油的水。根据钻井船作业的需要, 对部分舱底水进行油水分离处理后排除, 以达到清理舱底积累的污水水

的目的。船底水舱可以放置压载水用于配重。钻井水舱放置钻井水。钻井水是调配钻井液的一种溶剂，一般是淡水或工业淡水。钻井水可以通过注入站或者造水机获得，也可以把平台上的其他淡水作为钻井水，比如淡水舱、饮用水舱的淡水可以通过淡水驳运泵达到钻井水舱里。

钻井船内部的隔舱主要有：推进器舱室、机舱、配电室、隔离舱、通道、泵房、储物室、艏尖舱等。钻井船的舱室建模中，有两个非浮力体积类型的舱室(Non-Buoyant Volume)，分别是月池(Moon Pool)和ROV 舱。月池位于船体中心，与海水连同；ROV 舱室位于泵房旁，用于放置 ROV。

各个液舱和隔舱的示意及位置如图 2 和图 3 所示。

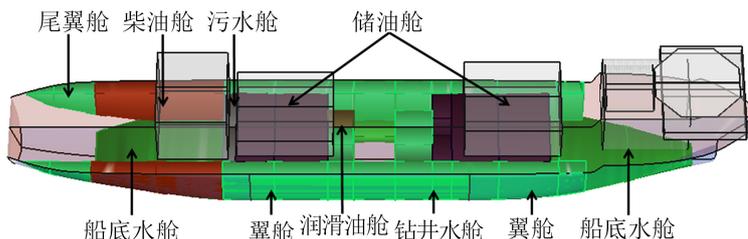


Figure 2. The various tanks of the drilling vessel

图 2. 钻井船的各个液舱

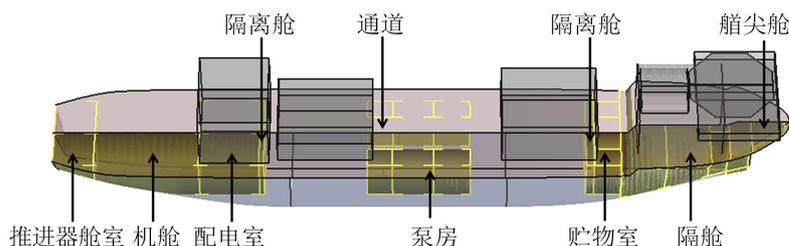


Figure 3. The various compartments of the drilling vessel

图 3. 钻井船的各个隔舱

2.2. 载况定义

本文计算钻井船在储油量为 80% 的工况下的稳性。钻井船上的重量由固定重量、可变重量和液体总量组成。固定重量包括空船、上层建筑、机舱内设备、直升机起降场、起重机和钻塔。空船重量为 14,000 t；上层建筑重量为 2200 t；机舱及设备重量为 1400 t；2 个起重机的重量为 40 t；钻塔重量为 1400 t。可变重量包括平台上人员、管道、立管、钻杆和尾甲板的存储空间。船上人员为 120 人，按单位重量 80 kg 估算总重量为 9.6 t；管道和立管的重量为 55,000 t；钻杆的重量为 2500 t；尾甲板的重量为 450 t。舱内液体的总重量为 47283.9235 t。

2.3. 测深管定义

根据液舱的大小和深度，为每个液舱定义相应的测深管。共定义 51 个测深管，如图 4 所示。

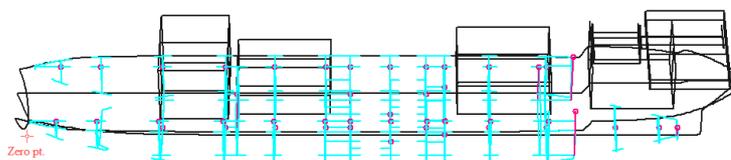


Figure 4. Sounding pipes for drilling vessel tanks

图 4. 钻井船液舱的测深管

2.4. 计算原理

本文的计算主要依据是上海交通大学盛振邦主编的《船舶原理》[6]一书中关于船舶静力学部分的相关理论及船舶大倾角稳性计算的相关章节内容，感兴趣的读者可前去自行查阅，这里不再赘述。

3. 计算结果

3.1. 静水力计算

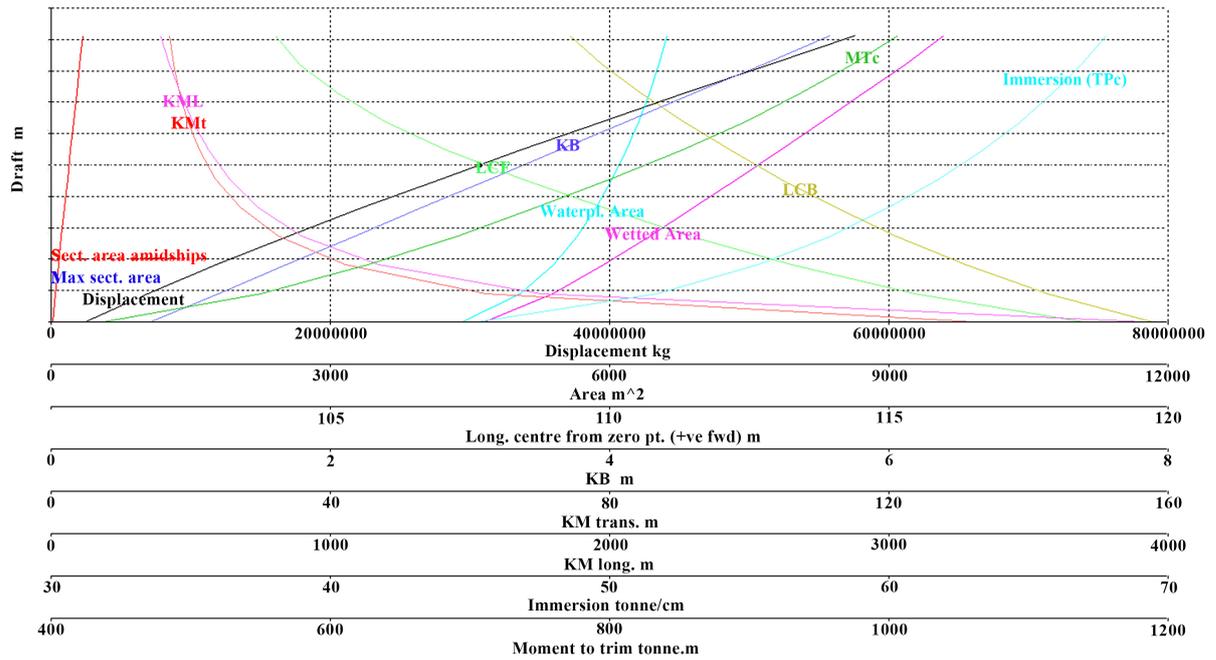


Figure 5. Hydrostatic curve of drilling vessel

图 5. 钻井船静水力曲线

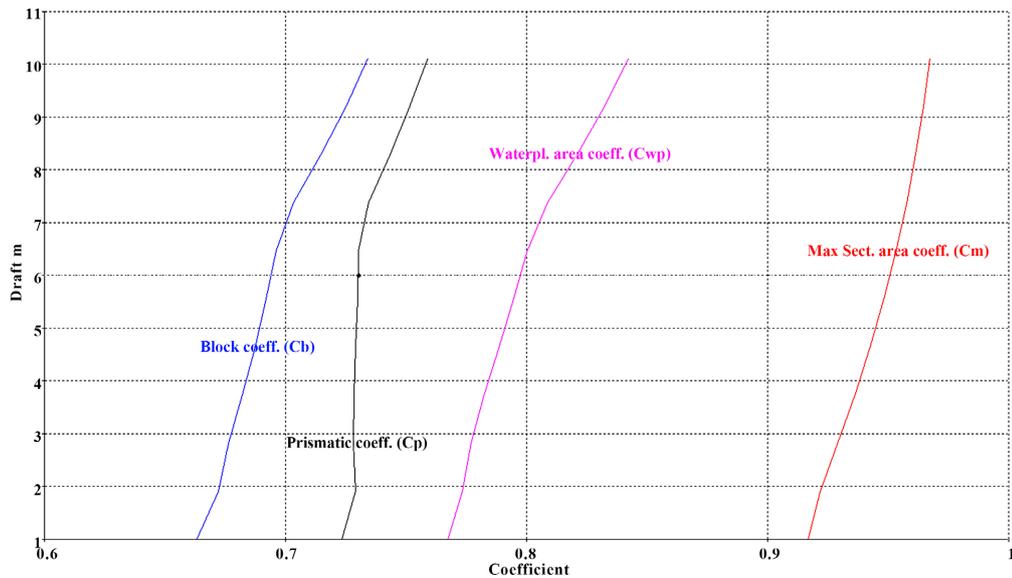


Figure 6. Curve of ship form coefficient for drilling vessels

图 6. 钻井船船型系数曲线

钻井船正浮状态下的静水力计算中，纵倾角固定为 0° ，吃水从1 m分析到设计吃水10.123 m，吃水增量为1.013 m (每隔1.013 m计算一次)。钻井船在正浮状态下的静水力曲线和船型系数曲线如图5和图6所示。

3.2. 大倾角稳性计算

大倾角稳性计算中，钻井船相对左舷进行横倾，横倾角从 -20° 到 120° ，每隔 10° 计算一次，纵倾设置为自由纵倾(Free Trim to Loadcase)，流体分析方法设置为修正VCG法。钻井船的静稳性和动稳性曲线如图7和图8所示。钻井船的极限静倾角发生在 86.4° ，最大复原力臂为5.95 m。

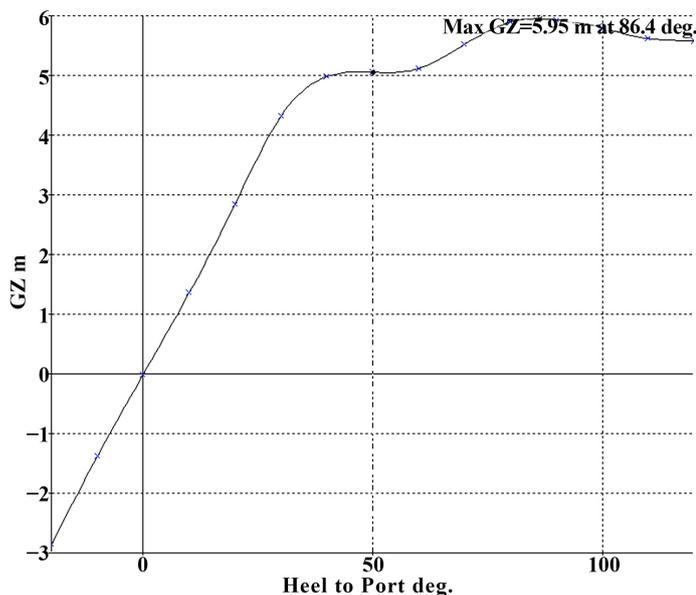


Figure 7. Static stability curve of drilling vessel

图7. 钻井船静稳性曲线

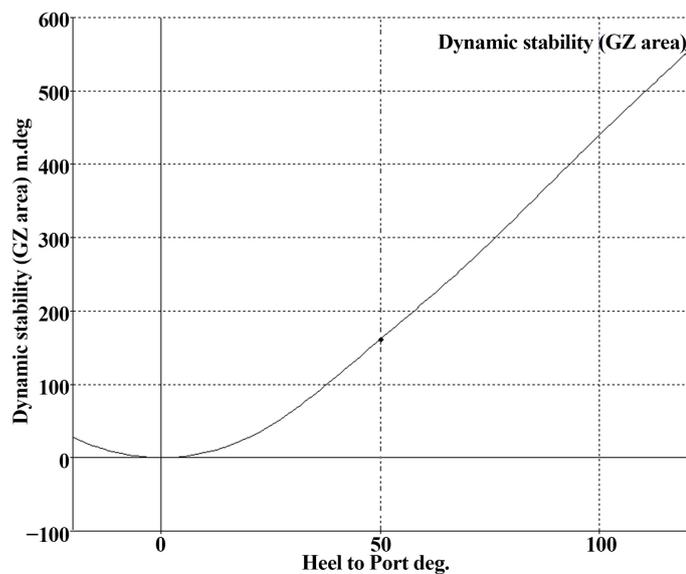


Figure 8. Dynamic stability curve of drilling vessel

图8. 钻井船动稳性曲线

3.3. 溢油计算

MARPOL Oil Outflow 为溢油计算，根据《MARPOL》(国际防止船舶造成污染公约)中的规定进行相应的舱内石油溢出量计算。Stability 的溢油计算功能包含两个规定，一个是 MEPC.141 (53)，规则 12A：油箱保护；另一个是 MEPC.117 (52)，规则 23：意外漏油性能。规则 12A 适用于燃料舱；规则 23 适用于货油舱。进行钻井船溢油计算时工具栏中选择 MARPOL Oil Outflow，如图 9 所示。

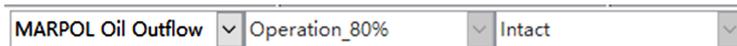


Figure 9. Analysis toolbar for oil spill calculation
图 9. 溢油计算的分析工具栏

单击“Analysis”>“MARPOL Options”，在弹出的 Select Tanks for MARPOL Analysis 窗口中选择使用的规定和计算的油舱。如图 10 所示，窗口中可以选择 Reg 12A 或 Reg 23，油舱可以设定是侧面破损或底面破损。选择 Oil 1、Oil 2、Oil 3 和 Oil 4 进行溢油计算，勾选 Side damage 和 Bottom damage。

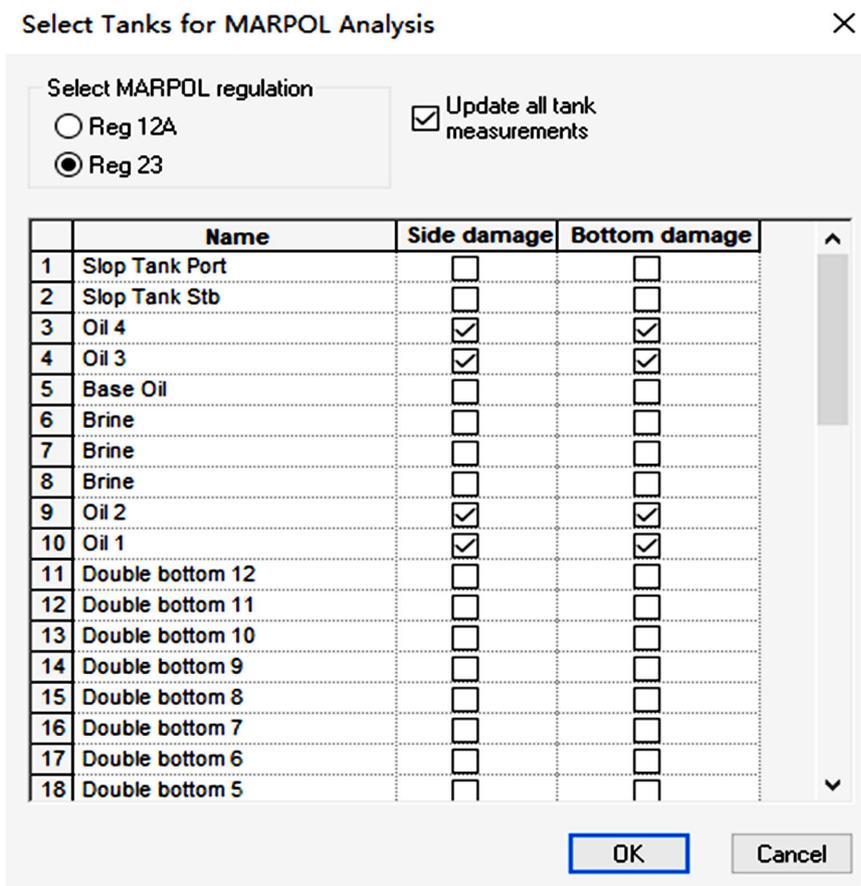


Figure 10. Select Tanks for MARPOL Analysis
图 10. Select Tanks for MARPOL Analysis 窗口

计算结果显示在 Results 窗口中的 MARPOL 表格中。MARPOL 表格分为三部分：Main parameters，参与计算的主要船体参数；Side damage，由侧面损坏导致的溢油量；Bottom damage，由底面损坏导致的溢油量。表中可编辑的参数以黑色显示，不可编辑的参数以灰色显示。

Results																	
1	Main parameters: Reg.23																
2	Length (L)		218.708	m													
3	Aft terminus of Length (L)		0.000	m													
4	Deepest loadline draft (d_S)		10.123	m													
5	Lightship draft (d_L)		3.820	m													
6	Partial loadline draft (d_P)		7.602	m													
7	Draft B (d_B)		5.475	m													
8	Depth amidships to upper deck (D_S)		18.249	m													
9	Breadth at or below d_S (B_S)		35.924	m													
10	Breadth at or below d_B (B_B)		35.639	m													
11	Deadweight (DWT)		40171467	kg													
12	Total volume of fuel oil at 98% filling (C)		23421.017	m ³													
13	Nominal seawater density (rho_S)		1025.0	kg/m ³													
14	Nominal cargo density (rho_n)		1715.2	kg/m ³													
15	Inert gas over pressure (p)		5000.0	Pa													
16	Acceleration due to gravity (g)		9.810	m/s ²													
17	Tidal change (t_C)		-2.500	m ³													
18	Calculations																
19	Mean outflow for side damage (O_MS)		341.875	m ³													
20	Mean outflow for bottom damage (O_MB)		392.112	m ³													
21	Mean outflow parameter (O_M)		0.016														
22	Maximum allowable mean outflow parameter (O_M_max)		0.021														
23	Satus Reg.23		Pass														
< > < Long. strength < Tank cal. > < MARPOL < Criteria < Key pts. < Comp																	
Side damage																	
	Permeability	Loading %	Loading vol.	Oil density	Xa	Xf	Yp	Ys	Zl	Zu	y	z	P(Sa)	P(Sf)	P(Sl)	P(Su)	P(Sy)
	%	% full	m ³	kg/m ³	m	m	m	m	m	m	m	m					
Oil 4	99.0	98.00	4427.628	1715.2	68.500	80.500	30.819	4.819	3.500	18.12	4.487	3.126	0.2802	0.5989	0.0063	0.0017	0.9019
Oil 3	99.0	98.00	6087.988	1715.2	80.500	97.000	30.819	4.819	3.500	18.12	4.523	3.127	0.3351	0.5235	0.0063	0.0017	0.9025
Oil 2	99.0	98.00	7001.896	1715.2	129.500	150.000	30.819	4.819	3.500	18.12	4.395	3.127	0.5591	0.2812	0.0063	0.0017	0.9005
Oil 1	99.0	98.00	5903.504	1715.2	150.000	166.000	30.819	4.819	3.500	18.12	3.343	3.127	0.6528	0.2080	0.0063	0.0017	0.8820
Mean outflow for side damage (O_MS)			23421.017														
Long. Bhd. Coefficient (C_3)	1.00																
Bottom damage																	
	Permeability	Loading %	Loading vol.	Oil density	Xa	Xf	Yp	Ys	Zl	Zu	y	z	P(Ba)	P(Bf)	P(BP)	P(BS)	P(BZ)
	%	% full	m ³	kg/m ³	m	m	m	m	m	m	m	m					
Oil 4	99.0	98.00	4427.628	1715.2	68.500	80.500	30.819	4.819	3.500	18.12	4.487	3.126	0.0628	0.7974	0.0538	0.0538	0.8584
Oil 3	99.0	98.00	6087.988	1715.2	80.500	97.000	30.819	4.819	3.500	18.12	4.523	3.127	0.0832	0.7393	0.0538	0.0538	0.8585
Oil 2	99.0	98.00	7001.896	1715.2	129.500	150.000	30.819	4.819	3.500	18.12	4.395	3.127	0.1980	0.4345	0.0538	0.0538	0.8585
Oil 1	99.0	98.00	5903.504	1715.2	150.000	166.000	30.819	4.819	3.500	18.12	3.343	3.127	0.2757	0.3184	0.0538	0.0538	0.8585
Mean outflow for bottom damage (O_MB)			23421.017														

Figure 11. Oil spill calculation of drilling vessels

图 11. 钻井船的溢油计算

由图 11 的计算结果可知,当钻井船的 4 个油舱的侧面受到损害时,油舱的平均溢油量为 341.875 m³;当底面受到损害时,油舱的平均溢油量为 392.112 m³。

4. 结论

本文结合某钻井船的具体参数,简单介绍了钻井船内部的舱室布置,对该钻井船进行了三维建模,并结合该钻井船在位运行的具体过程对其相关性能进行了详细计算,得到了该艘钻井船的静水力特性和大倾角稳性,得到其最大复原力臂和极限静倾角。最后,本文还给出了使用 Stability 进行溢油计算的流程,发现该当钻井船的 4 个油舱的侧面受到损害时,油舱的平均溢油量为 341.875 m³;当底面受到损害时,油舱的平均溢油量为 392.112 m³。

基金项目

海洋细长挠性结构系统的随机动力响应机理研究 - 广东海洋大学科研启动经费资助项目 (060302072101)、面向船舶电力物联系统的数据质量优化方法 - 广东海洋大学科研启动经费资助项目 (060302112008)。

参考文献

[1] 邹昌明, 马金喜, 黄岩, 等. 海上无人井口平台消防泵选型与智能化控制方案[J]. 造船技术, 2023, 51(4): 72-76.

- [2] 贾向锋, 李亚伟, 赵涛. 大洋钻探船钻探系统装备现状及总体配置研究[J]. 船舶, 2023, 34(5): 67-76.
- [3] 田雪, 赵建亭, 程峰, 等. 大洋钻探船泥浆系统设计研究[J]. 船舶, 2021, 32(1): 63-73.
- [4] 张鹏飞, 唐旭东, 陈冠宇, 等. 钻井船月池区舱段有限元典型设计工况[J]. 船舶工程, 2023, 45(2): 70-77.
- [5] 赵亮, 汪学锋, 李欣, 等. 内孤立波载荷作用下钻井船动力定位性能[J]. 中国海洋平台, 2022, 37(5): 37-44+81.
- [6] 盛振邦. 船舶原理[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2019: 1-75.