

基于 MOSES 软件的 DP 吊重测试数值分析

烟台打捞局

张伟

摘要：结合“德合”船 DP 动力定位系统，以康斯博格 DP 吊重测试文件为基础，阐述 DP 吊重测试步骤，同时基于 MOSES 软件对 DP 吊重测试过程中船舶关键数值进行模拟分析。建立了基于 Moses 软件的船舶模型及计算模型，对吊重过程中船舶吃水变化进行分析，选择典型吃水给到水动力模型中计算 DP 动力响应，为“德合”船 DP 测试安全进行提供数据支持，该计算模型也可以为以后海上 DP 吊装作业积累数据经验并提供参考。

关键词：MOSES 软件计算模型分析动力定位

0. 前言

MOSES 是目前世界上使用最广泛的海上操作模拟软件之一，主要应用于浮体总体设计和海上操作模拟，具有体积小、计算速度快、计算精度高等特点^[1]。目前国内的海上操作工程软件模拟项目几乎全部有 MOSES 参与，几项重大工程藉此获得了国家科技领域的最高奖项，如荔湾 3-1 平台（2013 年度国家科技进步二等奖：海上油田超大型平台浮托技术创建及应用）⁽²⁾。以 MOSES 软件为基础，对“德合”船进行数值建模，可以在 DP 吊装、铺管计算、系泊分析及系泊铺管、沉船打捞动态模拟等方面进行作业前模拟分析，为船舶操纵提供有效的数据支持。

烟台打捞局所属多功能起重铺管工程船“德合”船，配备康斯博格 DP3 动力定位系统、起重能力 5000T 全回转吊机、适应 3000m 水深的 S-lay 铺管系统，已经完成 60m 水深 DP 及系泊时效铺管，DP 吊重测试尚未进行。常规 DP 作业时需要提前至少一个月的时间将被吊物重量、重心、安装区域海洋环境等参数告知康斯博格工程师，康斯博格工程师以此进行船舶建模，分析吊重过程中船舶起吊作业前后、安装前后船舶重心转移及吃水变化，指导 DP 系统安全作业回。若有临时工程无法提前告知康斯博格进行建模分析，则需要随船工程师进行船舶数据分析并告知 DP 船长，船长根据分析数据启用本船“Craneheaven-lift”功能，进行 DP 系统相关参数设置，完成吊装。

本论文以测试 DP 吊重功能为目的，所有数值分析以“德合”船设计资料为基础，基于 MOSES 软件进行吊重测试数值分析，结果交于 DP 船长作为 DP 操作参考，后期实际测试作业测试结果与数值分析结果对比，不断优化数学模型，可以为以后作业提供准确数值结果。由于全世界范围内可参考案例不超过 5 例，而“德合”船为刚交付尚未投入使用新船，为此对“德合”船数值建模并进行软件模拟，对船舶安全作业提供数据支持。

1. 项目简介

1.1 DP 测试要求

康斯博格 DP 吊重测试目的为“德合”船测试“CraneHeavyLift”功能，测试过程中以 8 个推进器为基础，通过传感器感知作业海区风速、海水流速，根据前期数值建模，由 DP 功能函数自行计算，达到船舶在 DP 起重、启用“CraneHeavyLift”模式时能够安全完成作业。测试关键前提是吊机与 DP 系统建立联系，风、流载荷能够准确感知。测试内容有吊机测试、错误受力信号预判及重载控制。

安装康斯博格的测试要求，需执行如下步骤及条件：

- (1) 作业水域至少 1000m 直径开阔水域；
- (2) 被吊物需要在码头或固定平台上布放；
- (3) 选择不小于 1000T 重物。具体根据船舶尺寸及气象而定，但最小值为 1000T；

- (4) 重物固定状态下，起吊机臂架（即呈斜拉重物状态），测试 DP 动力输出； 完成此项
- (5) 测试后，垂直起吊重物做旋转吊重测试；
- (6) 吊起重物 DP 状态下离开重物摆放位置 100m 左右，再返回将重物放回原位，模拟海上精确安装。

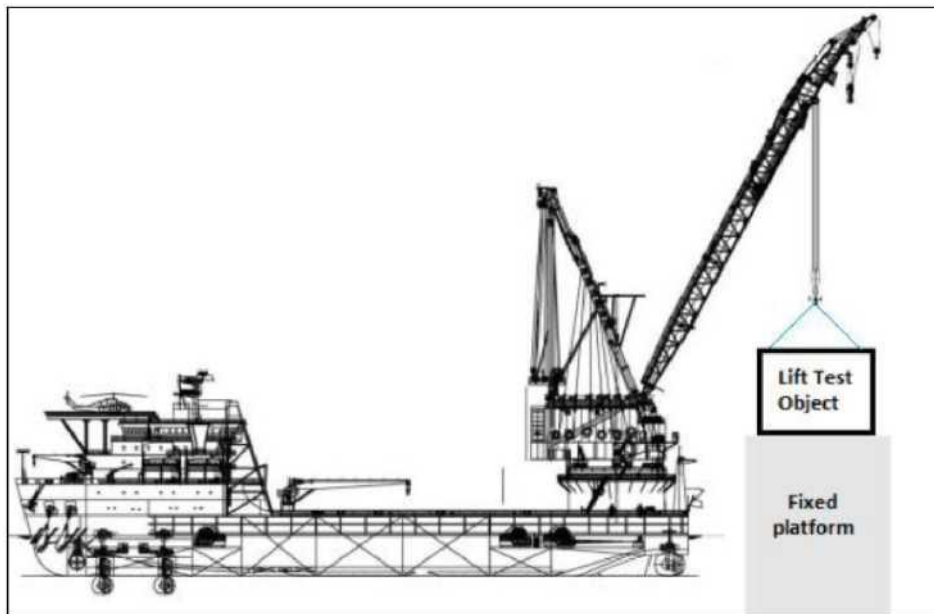


图 1.1 DP 测试布置图

由于该测试较为严格，尤其局部承重 1000T 以上且允许吊机斜拉重物进行测试，同时满足作业水深 30m 的条件，据康斯博格介绍，全世界范围内案例仅有 2 例，降低要求的 DP 吊重测试，全世界仅有 5 例。由于国内无法找到满足要求的且允许试验的码头，拟定“德浮 15001”甲板驳船在开阔海域最少 6 点系泊，2000T 水箱为被吊物放于驳船甲板，“德合”船 DP 模式启用“CraneheavenTift”功能艏靠驳船，将重物吊起，完成起吊之后，“德合”船退出距驳船 100m 左右然后再次艏靠驳船，将重物放于驳船甲板指定位置。重物放于驳船甲板后，“德合”船吊机不完全卸力，带载进行相关测试，直至测试结束。

1.2 “德合”船 DP 系统

“德合”船配备康斯博格 DP-3 动力定位系统，推进器配备：方位推进器 2X5500kw，伸缩推进器 4X3500kw，侧推进器 2X1500kw，位置参考系统：GyrosX3，WindsensorsX3，DGPSX2，等等。

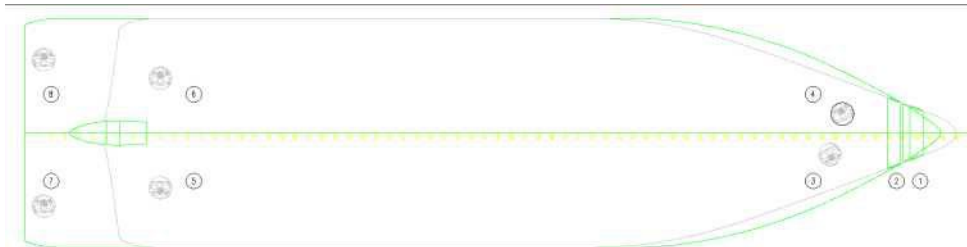
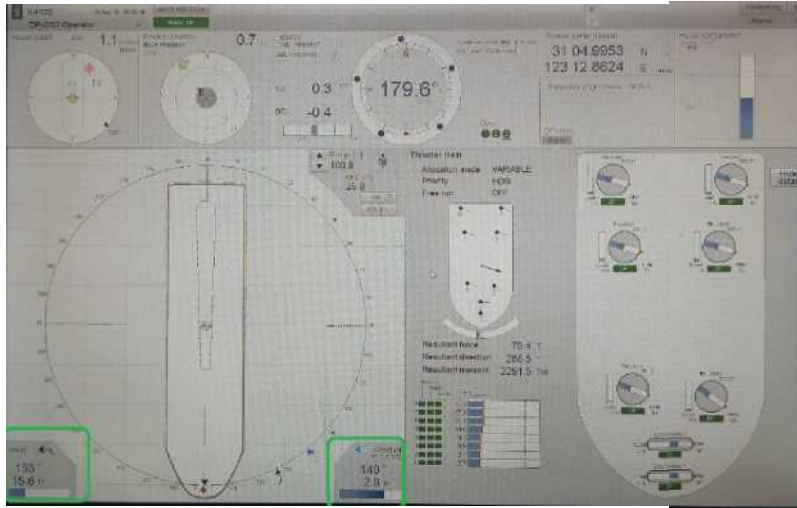


图 1.2 推进器位置图

在“德合”船 DP 系统显示面板上，环境参数只有风速和流速两项，风速为实时采集参数，流速项为相对流速——基于实时采集的绝对流速通过数学模型计算出的相对流速（在作业过程中，几分钟内可以完成荷载由重物承载平台到吊机的转移，随之改变的为船舶吃水，而如此短的时间内绝对流速变化可以忽略，随着船舶吃水变化，作用在船体的流力也随之改变，DP 系统通过数学模型基于实测流速重新计算出相对流速，显示在面板上），下图中方框



内容为显示的风速及流速。

图 1. 3 “德合”船 DP 系统显示界面

2. 研究方法

2.1 作业水域选取

根据康斯博格 DP 系统功率输出要求，能够使 DP 系统发挥高功率，要求最小水深低于船底龙骨数值的选取根据公式（1）或水深对照表 2-1。

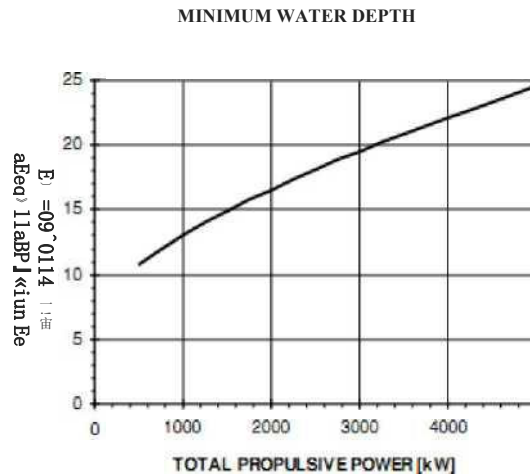
$$DQ=0.06L_T+3 \quad (1)$$

其中

do: 船龙骨到海底深度 m;

LT: 船长 nio

表 2-1 DP 系统最小水深参照表



“德合”船长 197m, 综合考虑作业时吃水 8.7m（详见后文计算），据此计算需要最小水深为 23.57m, 对照表 3-1DP 系统全负荷发挥时水深在 25m 左右。康斯博格要求船舶作业直径不小于 1000m, 结合作业水深要求，选定 30m 水深开阔海域进行吊重测试。

2.2 驳船吃水设计及“德合”船吊机臂架仰角选择

“德浮 15001”船长 125m, 型宽 35m, 型深 7.5m。设计测试时船舶吃水 4.5m, 在船舳位置加载 2 只 1000T 水箱，考虑索具在内，浮吊船起吊重量约 2160T。为防止起吊水箱过程

中驳船出现横倾或纵倾而影响浮吊受力，对驳船进行稳性计算选择合适位置放置水箱，确保水箱重量从驳船转移到浮吊过程中驳船只有垂向位移，计算结果如下：

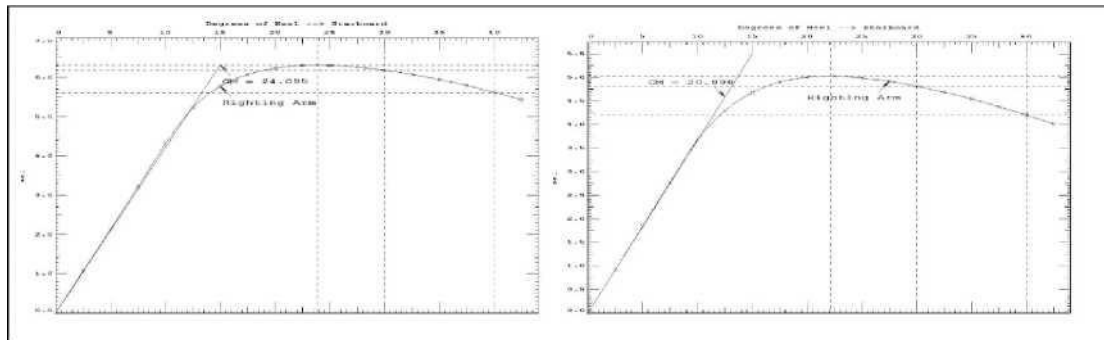


图 2.1 水箱起吊前后驳船 GM 值对比
表 2-2 起吊前后驳船状态变化对比

项目	计算结果
起吊前	BASELINE draft: 4.840 @ 125.00f, 4.843 @ 0.00 Trim: 0.00/125.00, Heel: zero
起吊后	BASELINE draft: 4.387 @ 125.00f, 4.388 @ 0.00 Trim: 0.00/125.00, Heel: zero

从上述计算结果看，驳船在水箱重量转移到吊机过程中，驳船艏、艉吃水均匀变化，无纵倾、横倾变化，满足测试要求。根据计算结果确定水箱在驳船位置距船艏 61.5m，如下图 所示：

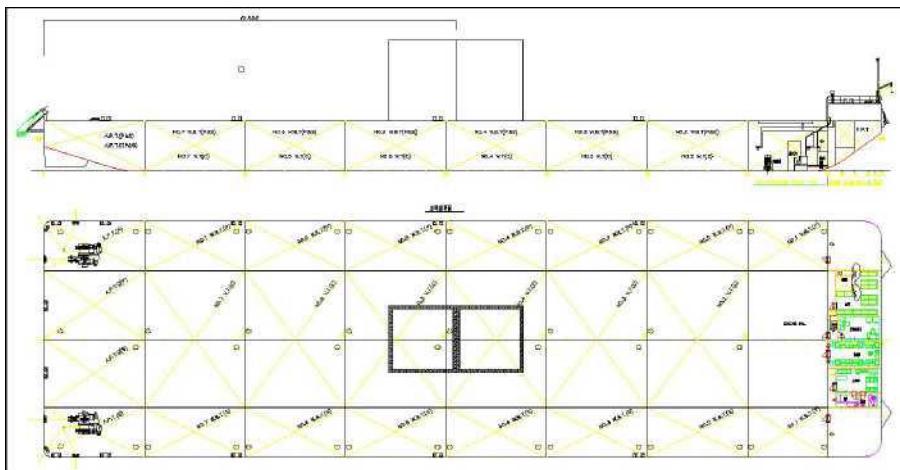


图 2.2 水箱在驳船上摆放位置

稳性校核参考 IM008A 规范标准^[4]，满足稳性要求。

2.3 船体模型

以“德合”船设计型线图和型值表基于 MOSES 建立船体模型，根据设计舱容图和舱容表 基于 MOSES 进行各舱的建模，船体模型及各舱室模型如下（其中船体模型按照臂架 60° 仰角工况进行建模）：

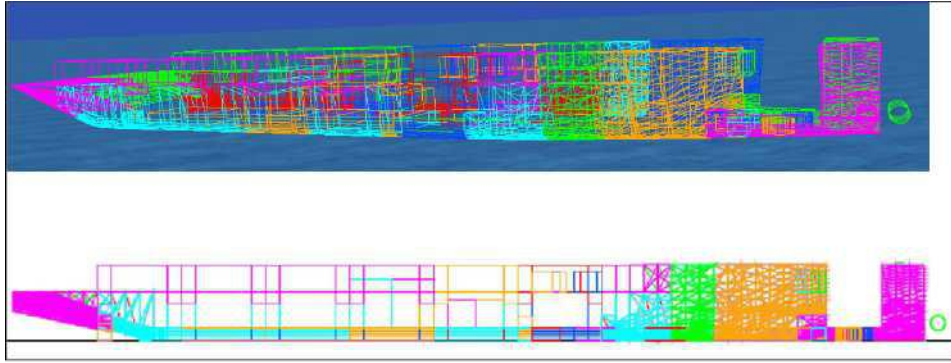


图 2.4 “德合”船基于 MOSES 舱室模型图

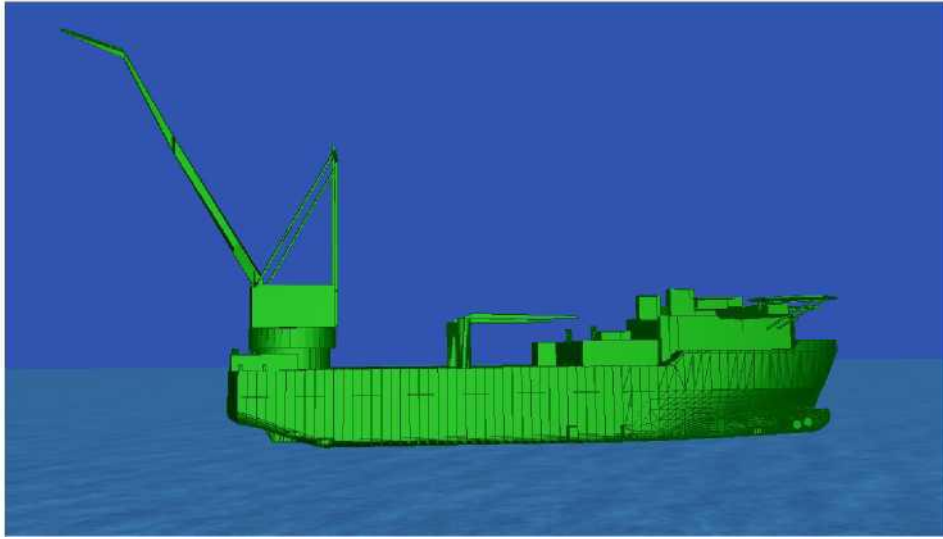


图 2.5 “德合”船基于 MOSES 船体模型图

基于模型对船舶进行静水力分析，选取典型吃水及排水量对比船舶完工装载计算书(5) 计算结果及对比如下：

表 2.3 模型排水量数据对比

MOSES 装载计算书			
Draft (m)	Displacement (T)	Draft (m)	Displacement (T)
误差 T			
3.00	20052.3	3.00	20154.4
102.1			
4.00	27331.6	4.00	27361.3
29.7			
5.00	34830.4	5.00	34801.9
28.5			
6.00	42564.2	6.00	42533.9
30.3			
7.00	50447.3	7.00	50423.1
24.2			
8.00	58441.2	8.00	58429.0
12.2			

表 2.4 模型部分舱室舱容对比

Name	Fill Type	Specific Gravity	-----Balia Maximum	NO. 序号	COMPARTMENT NAME 航名	VOLM m ³	VNET m ³
				C.J.Fresh Water : Reduction=[^].02			
3AWTFWP CORRECT		1.0247	987.0	51	No.3AWT.FW(P)	m2	963.5
3AWTFWS CORRECT		1.0247	987.0	52	No.3AWT.FW(S)	驗.2	963.5
3BWTFWP CORRECT		1.0247	603.6	53	No.3BWT.FW(P)	601.2	589.2
3BWTFWS CORRECT		1.0247	603.6	54	NQ.3BWT.FW(S)	901.2	589.2

注：左侧为 MOSES 计算出舱室可容纳海水重量，以 3AWTFWS 为例，舱容为 987/1.0247=963.2 与舱容表该舱室 VNET：963.5 相同。

从上对比数据可以确定基于 MOSES 建立的模型准确度满足计算要求。

2.4 数值模型

2.4.1 数值模型建立依据

综合考虑驳船吃水变化及选定的吊机状态建立“德合”船数值模型，选择依据如下：

(1) 水箱重 2000T 含索具重量 2160T, 根据 DNV 规范当被吊物超过 2000T 时，需考虑 1.15 倍的动载系数(6), 据此考虑浮吊起重能力需要大于 2160x1.15=2484To 下图为“德合”船吊重曲线表，图中显示吊机跨距在 29m~55m 时，全回转工况吊重能力大于 2500T, 从“德合”船吊机使用说明查得吊机在跨距 55B 时，臂架仰角 60°，此时“德合”船艏到驳船舷距离为 20.7m, 满足作业要求，选定跨距 55m 为作业状态：

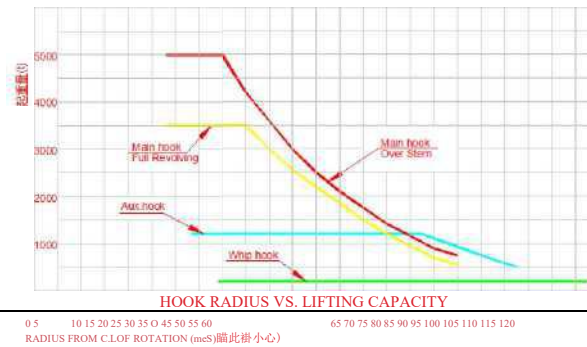


图 2.6 “德合”船吊重曲线表

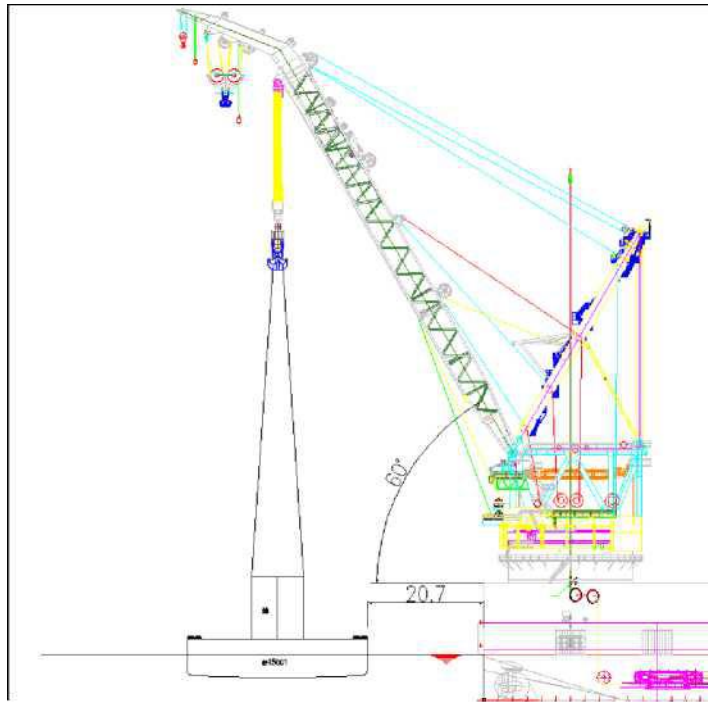


图 2.7 跨距校核

(2) 从计算驳船吃水变化可以看出，水箱重量从驳船转移到浮吊过程中，驳船吃水变化为 46cm，查询“德浮 15001 静水力计算书”可知驳船吃水在 4.3m~4.8m 区间时厘米浸吨约 43T（略有差异）。

2.4.2 数值模型

(1) 荷载设定：从驳船上起吊水箱，重量从驳船转移到浮吊过程中，驳船吃水缓慢减小，结合驳船厘米浸吨设计浮吊载荷。以水箱垂向位移 10cm 为步长、驳船吃水变化 46cm 为行程，计算 5 步（步长数值越大，计算精度越高，但是计算量也会越大）。“德合”船吊机荷载结合“德浮 15001”驳船吃水从 4.84m，每次吃水减小 10cm 计算吊机荷载变化差（驳船重量减小量最大值是水箱重量 2000T，浮吊荷载重量增加量需要包含索具重量，最大负荷 2160T，详见前文），设定吊机荷载变化统计如下：

表 2.5 吊机荷载变化表

步数	驳船吃水 (m)	吃水减小值 (cm)	重量变化 (T)	吊机荷载 (T)
0	4.84	0	0	0
1	4.74	10	432.5	432.5
2	4.64	10	432.0	864.5
3	4.54	10	431.5	1296
2	4.44	10	431.0	1727
3	4.38	6	332.0	2160

(2) 舱室压载设定：综合考虑“德合”船稳性及吊机荷载前后船舶吃水，设计各舱室压载状态基于 MOSES 如下图计算结果：

Name	Weight	/---Center of		Z	Sounding	% Full
		X	Y			
LOAD_GRO	47845.80	10L 37	-0 13		19.50	
-----Contents-----						
2WTWBP	1419.91	40.34	-16	74002200500050775050	35007700001100660000	87.00
2WTWBS	1632.60	40.06	17			100.00
3DBWBP	518.42	6L 60	-8			100.00
3DBWBS	518.42	6L 60	8			100.00
4AWTWBP	1309.02	8L 00	-19			100.00
4AWTWBS	1309.03	8L 00	19			100.00
4DBWBP	29L61	8L 20	-6			100.00
4DBWBS	388.81	81.20	8			100.00
5DBWBP	486.02	98.00	-6			100.00
5DBWBS	518.42	98.00	6			100.00
6AWTWBP	1345.64	114.80	-19			100.00
6AWTWBS	1345.64	114.80	19			100.00
6DBWBP	486.02	114.80	-6			100.00
6DBWBS	518.42	114.80	6			100.00
7AWTWBP	672.82	13L 60	-19			100.00
7AWTWBS	672.82	13L 60	19			100.00
7DBWBP	486.02	131.60	-6			100.00
7DBWBS	518.42	131.60	6			100.00
8DBWBP	486.02	148.40	-6			100.00
8DRWBS	518.42	148.40	6			100.00

图 2.8 各舱室压载状态

(3) DP 设定：根据“德合”船舶布置图，在数模中设定推进器位置、坐标控制等相关参数。

(4) 稳性标准：参考 IM02008 完整稳性标准进行校核；

(5) 水域环境：设定水深 30m, 蒲福 4 级风速 12 节，忽略浪对船体影响，设置 3 节流速，90 方向来流(即船舶横流)。

3. 计算结果

3.1 “德合”船吃水变化

根据上述模型及参数设定水箱起吊过程数值模型、进行数值分析、统计船舶吃水变化，通过 MOSES 计算结果如下：

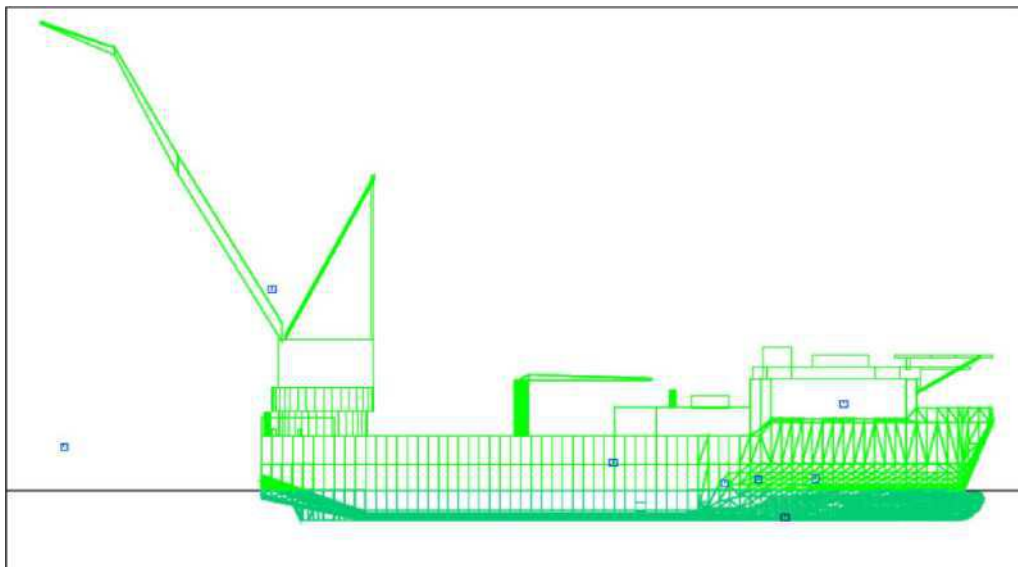


图 3.1 “德合”船重量加载分布表

3.1 荷载吃水变化表

项目结果						
Weight(T)	0	432.5	864.5	1296	1727	2160
TF(m)	9.34	9.07	8.80	8.52	8.24	7.96
MID(m)	8.69	8.71	8.72	8.73	8.74	8.75
TA (m)	8.04	8.34	8.64	8.94	9.24	9.53
GM	10.7	10.59	10.48	10.35	10.21	10.06

TF: FP draught 艏吃水, TA:AP draught 艉吃水, MID: 船中吃水

3.2 DP 输出

计算结果如下列图所示，分别提取各推进器的 X 轴和 Y 轴的推力输出、流力在船体上的三轴作用力。图 3.2 为 3#、4#、5#、6#推进器矢量输出，在 MOSES 软件中给出的是矢量输出结果，以及各推进器动力输出方向，由于方向输出不在本文研究范围，在此不详细列举。图 3.3 为风、水流作用下的船体受力，可以看出船体受到的风、水阻力随着船舶荷载增加的变化，图 3.4 明显显示在“德合”船荷载增加过程中，DP 动力输出逐渐增加。

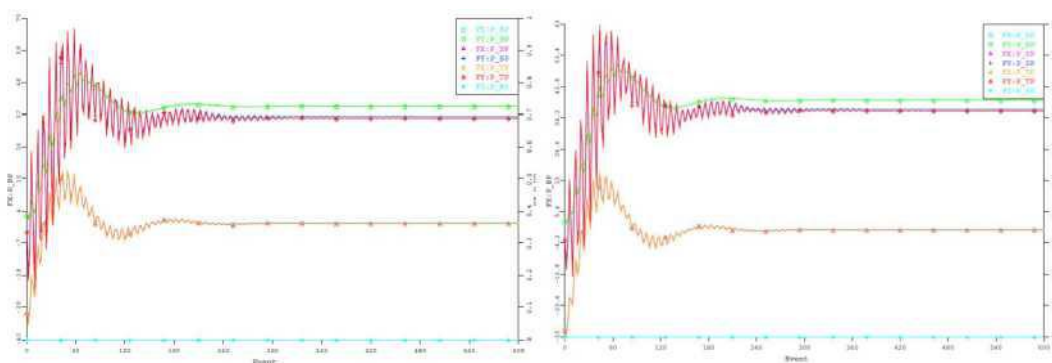


图 3.2-1 荷载 0T 各推进器输出图 3.2-2 荷载 432T 各推进器输出

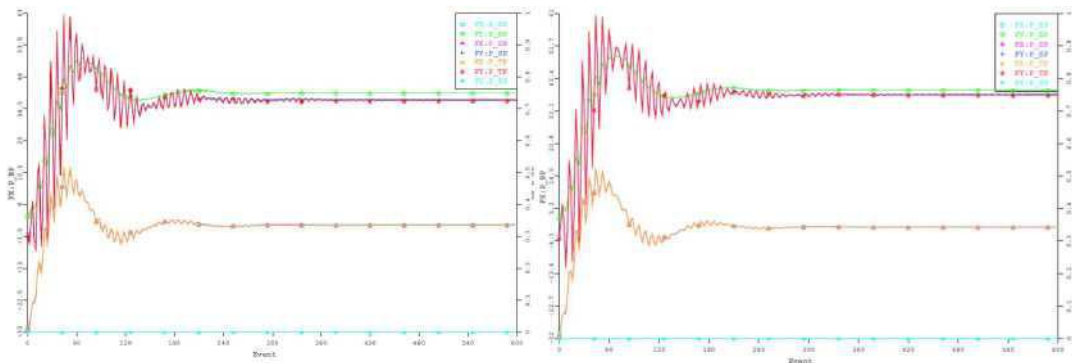


图 3.2-3 荷载 864T 各推进器输出图 3.2-4 荷载 1296T 各推进器输出

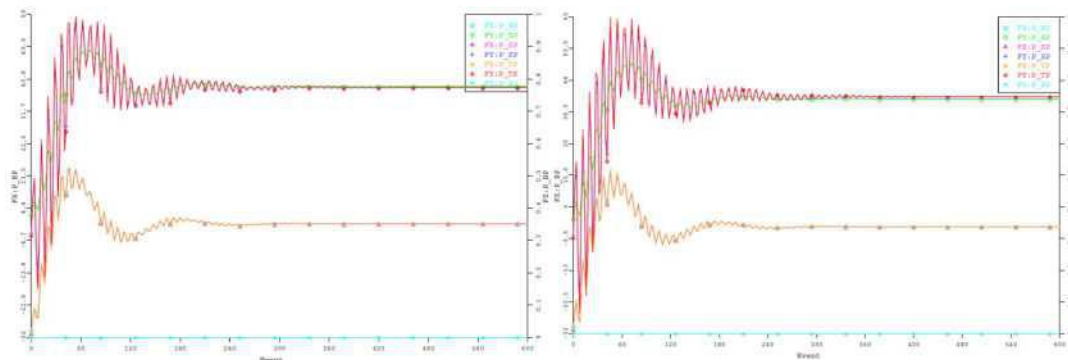


图 3.2-5 荷载 1728T 各推进器输出图 3.2-6 荷载 2160T 各推进器输出

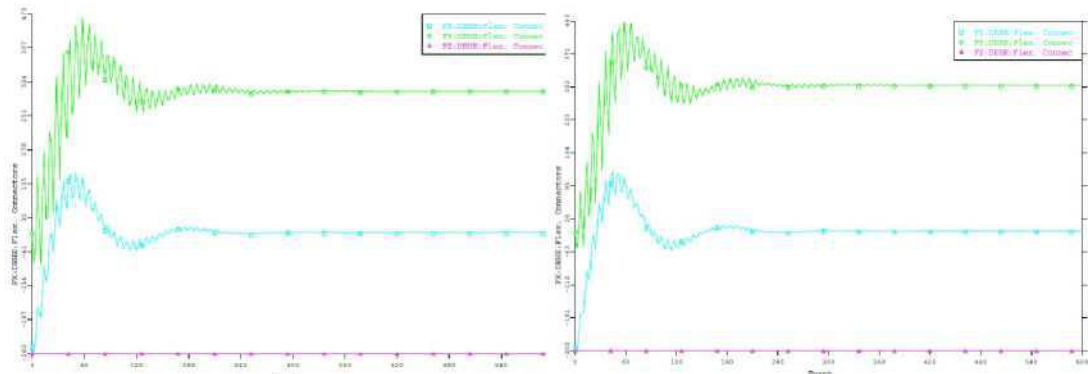


图 3.3-1 荷载 0T 船体三轴流力图 3.3-2 荷载 432T 船体三轴流力图

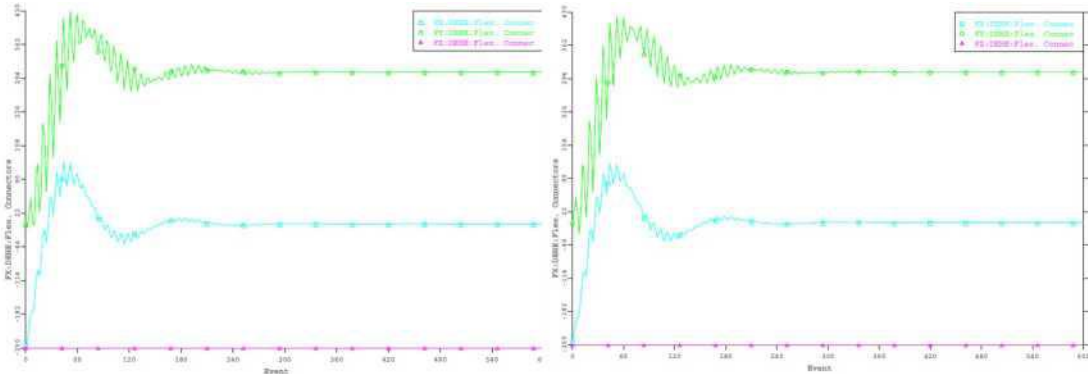


图 3.3-3 荷载 864T 船体三轴流力图 3.3-4 荷载 1296T 船体三轴流力图

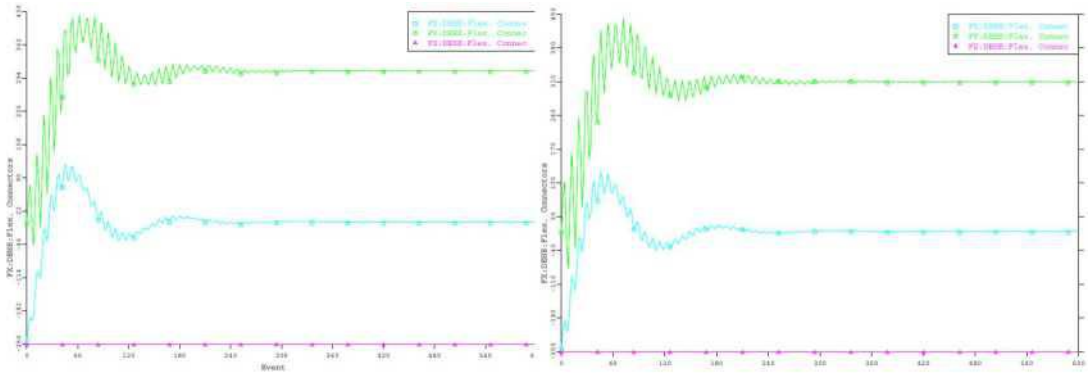


图 3.3-5 荷载 1728T 船体三轴流力图 3.3-6 荷载 2160T 船体三轴流力图

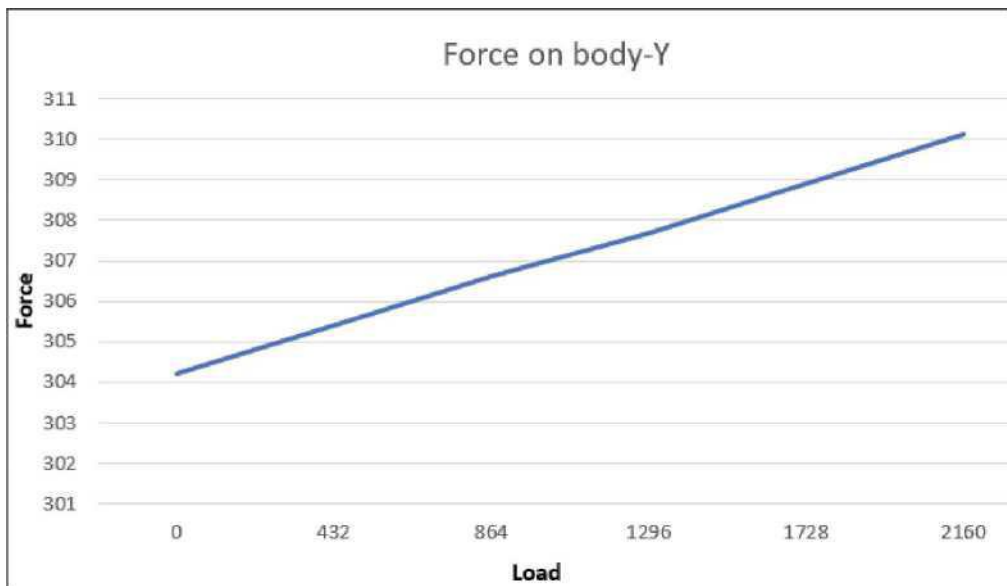


图 3.4 荷载与船体流力关系图

4. 结论

计算船舶受流影响快速计算可参考 CCS 海上拖航规范^[7], 船舶所受流力为:

$$R_B + R_f = 0.1478 A_2 V^1.74 + 1.67 A_1 V^1.83 \times 10^{-3}$$

其中: A_1 为船舶水下湿表面积, A_2 为浸水部分船舯横截面积。

从计算公式中可以看出, 船舶所受流力与船舶吃水有关, 吃水越大船舶受流力越大。

通过 MOSES 软件计算“德合”船起吊过程中, 即 DP 吊重状态下, 随着“德合”船吊机 荷载增加船舶吃水逐渐增大, 从图 3.3 系列图可以看出, 随着船舶吃水增加, 相同流速及风速情况下作用在船体上的力随着船舶吃水增加而增大, 而船体受力是 DP 系统稳船的直接数值依据, 为了能够维持住船舶位置, DP 系统动力输出随之增加。图 3.2 系列图中显示的是 各推进器矢量输出, 无法明确看出船体来流方向动力输出分力, 但是最终荷载变化与船体受力变化统计在图 3.4 中, 可以看出随着船舶吊机荷载增加, 船体受流力逐渐增加, 数值模拟 结果与公式计算受力趋势一致。

5. 结束语

“德合”船在实际工程中没有 DP 吊装经验, 根据康斯博格所述, 船舶需要在多次使用中建立 DP 数据库, 才能够更好的完善本船 DP 系统模型, 为后来的作业提供更加精准的定位。按照康斯博格要求, 每次作业之前最少一个月的时间提供数据来建立模型进行计算, 如此周期对于临时大型吊装(临时接到作业命令代替其它浮吊作业情况)无疑会错失机会, 通过 MOSES 软件进行数据模拟, 虽然不能与船上 DP 系统通讯, 但是可以将计算结果提交 DP 船长, 为船长操作提供前期数据支持。同时, 随着“德合”船 DP 作业增加, 对本船基于 MOSES 的计算模型不断优化和改进, 同样建立一个数据库, 为将来精确作业提供数据支持。

通过“德合”船基于 MOSES 软件的 DP 吊重测试分析, 对“德合”船 DP 系统工作原理有更深入的了解, 对本船数值模型建立也有深入的理解。本文计算结果将与实际测试结果进行对比, 将理论结果与实际结果对比, 分析可能出现的结果偏离, 再次进行数值模型优化, 为以后作业提供更加准确的数值模型及计算结果, 为船舶安全作业提供保障。

参考文献

- [1] 梁学先, 等. MOSES 软件在大型导管架海上安装分析中的应用[J]中国造船, 2012. 11. 53(2).
- [2] 海上浮体设计与操作模拟软件 <http://www.zy-aoto.com/moses/moses.asp> [DB/OL]. 2012.
- [3] Commissioning and Tuning Procedure K-Pos Crane Heavy Lift Functionality[M]. Kongsberg, 2017. 10
- [4] ADOPTION OF THE INTERNATIONAL CODE ON INTACT STABILITY, 2008[S]. 2008
- [5] DEHE Final Loading Manual. Shanghai Bestway Marine Engineering Design CO., LTD, [M]2018:37-38
- [6] RULES FOR PLANNING AND EXECUTION OF MARINE OPERATIONS[S]. DNV, 1996.
- [7] CCS. 海上拖航指南[S]. 2011