

无动力定位辅助系泊的北海型支持平台与 FPSO 靠泊运动响应分析

吴承恩, 邱少华

(南通中远海运船务工程有限公司 海工与新能源研发中心, 江苏 南通 226006)

摘 要:北海型支持平台与 FPSO 靠泊安全对 FPSO 的生产具有重要意义。以典型的北海型半潜式支持平台为研究对象,在水动力分析的基础上开展风浪流载荷联合作用下的时域靠泊运动响应分析,通过研究无动力定位辅助系泊的北海型支持平台与 FPSO 靠泊运动响应,对靠泊舷梯的相对位移以及舷梯在支持平台和 FPSO 侧的固定点和搭接点的加速度进行统计分析,以确定靠泊舷梯相对位移满足舷梯伸缩要求的海况条件。

关键词:北海型支持平台;FPSO;靠泊;运动响应

中图分类号:U674.38

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2021)4-0076-06

0 引言

半潜式平台每年的事故率远超其他类型的海洋平台^[1],开展支持平台与浮式生产储油卸油装置(Floating Production Storage and Offloading,简称“FPSO”)的靠泊方案设计,探索适合 FPSO 的靠泊运动耦合技术,对于保障 FPSO 的生产和船员活动具有重要意义^[2]。国内外学者对两浮式平台靠泊连接所涉及的多浮体耦合动力分析做了不少研究,如刘峥通过由栈桥连接的两座半潜式海洋平台分析了不同海况条件靠泊系统的定位能力,确定了可进行靠泊作业的安全海况^[3]。北海型支持平台与 FPSO 生产平台在波浪中的响应并不相同,因此平台之间会有相对运动,而栈桥连接位置不允许有过大的相对运动,否则栈桥将遭到损坏,转运人员的安全将得不到保障,因此对平台海上靠泊连接的研究十分有必要^[4]。本文通过选定目标海域海况条件,设计合适的北海型支持平台与 FPSO 的靠泊系泊方案,分析无动力定位辅助系泊的北海型支持平台与 FPSO 靠泊运动响应情况,以确定靠泊舷梯相对位移,满足舷梯伸缩要求的环境条件。

1 环境条件

目标海域的海况采用北大西洋波高-周期-风速统计数据进行分析。北大西洋波高-周期-风速关系历史记录如表 1 所示,谱峰周期根据有义波高插值得到。

对于 JONSWAP 谱,在已知有义波高 H_s 和谱峰周期 T_p ,而在谱形因子 γ 未知的情况下,可以根据 DNV-RP-C205 计算得到相应的谱形因子 γ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 5 \quad \text{for} \quad \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \\ \gamma = \exp[5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}] \quad \text{for} \quad 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5 \\ \gamma = 1 \quad \text{for} \quad 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \end{array} \right. \quad (1)$$

风速为脉动风,用 NPD 风谱表达,参考高度为 10 m 处风速。考虑较为极端的风浪流同向工况,为分析不同波高和浪向角下的运动响应,确定浪向角间隔为 30° ,有义波高分别取 5 级海况的上限波高 4.0 m 和 6 级海况的上限波高 6.0 m,同时为分析响应与波高的非线性相关度,进一步取波高为 5m 进行计算。风速可根据表 1

收稿日期:2021-09-06

基金项目:工业和信息化部深水半潜式支持平台研发专项(MC-201620-H01-01)

作者简介:吴承恩(1977—),男,山东烟台人,南通中远海运船务工程有限公司海工与新能源研发中心工程师。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

插值得到。流速数据根据美国国家海洋和大气管理局在北海南部海域的浮标统计数据得到。时域计算采用的三种海况的环境参数如表 2 所示。

表 1 有义波高、波浪周期和风速关系

有义波高/m	跨零周期/s	谱峰周期/s	平均风速/(m*s ⁻¹)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.28	4.14	5.30	2.50
1.78	4.89	6.26	5.00
2.44	5.72	7.32	7.50
3.21	6.57	8.41	10.00
4.09	7.41	9.49	12.50
5.07	8.25	10.56	15.00
6.12	9.07	11.61	17.50
7.26	9.87	12.64	20.00
8.47	10.67	13.65	22.50
9.75	11.44	14.65	25.00
11.09	12.21	15.62	27.50
12.50	12.96	16.58	30.00
13.97	13.7	17.53	32.50
15.49	14.42	18.46	35.00

表 2 时域计算工况表

环境参数	海况 1	海况 2	海况 3
波高/m	4.00	5.00	6.00
谱峰周期/s	9.18	10.56	11.49
谱形因子 γ	1.60	1.38	1.43
风速/(m*s ⁻¹)	12.50	15.00	17.20
流速/(m*s ⁻¹)	0.70	0.80	1.00

2 靠泊及系泊方案设计

北海型支持平台与 FPSO 的靠泊方案设计要考虑两者的总布置、登乘舷梯工作能力、FPSO 作业状态、系泊方案、功能需求等多个因素,目标靠泊 FPSO 作业水深选定为 1 000 m。

2.1 北海型靠泊状态系泊方案

考虑到 FPSO 和北海型支持平台布置以及登乘舷梯的位置和许用长度,采用支持平台靠泊 FPSO 前端的方案。支持平台舷梯搭接点位于 FPSO 船楼二层甲板处,搭接点位于 FPSO 右舷,距离支持平台中纵剖面 15 m,舷梯与救生艇架间留有足够的间距。

北海型支持平台与 FPSO 靠泊状态系泊缆布置如图 1 所示。FPSO 采用 16 点张紧式系泊,导缆孔左右对称布置于船体艏艉处。北海型支持平台采用悬链式系泊方案,共采用 10 根系泊缆绳。

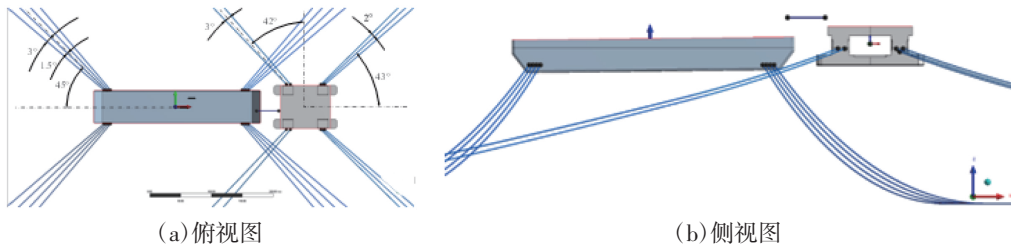


图 1 北海型支持平台与 FPSO 靠泊状态系泊缆布置图

为监测舷梯长度变化,在支持平台铰接点与 FPSO 搭接点间设置一根无重量的理想弹性缆绳。缆绳拉伸刚度为 1 N/m,刚度较小,对两浮体相对运动影响可以忽略不计。若缆绳初始长度为 0 m,则缆绳受力等于支持平台铰接点与 FPSO 搭接点间的距离。

2.2 系泊缆材料参数

FPSO 系泊缆为三段 R3S 无档锚链,其中底缆长 30 m,中缆长 600 m,顶缆长 50~90 m,缆绳预张力为 10%破断载荷,顶缆长度根据预张力可调整。北海型支持平台每组缆绳由三段组成:底缆为 1 000 m 的 R5 锚链,中缆为 300 m 的聚酯缆,顶缆为 230 m 左右的钢缆,系泊半径为 1 800 m,预张力为 736 kN,顶缆长度根据预张力调整。北海型支持平台系泊缆绳参数如表 3 所示。

表 3 FPSO 与北海型支持平台系泊缆绳参数

项目	FPSO			北海型支持平台		
	底缆	中缆	顶缆	底缆	中缆	顶缆
类型	R3S Studless	R3S Studless	R3S Studless	R5	Polyester	Wire
长度/m	30	600	50~90	1 000	300	230
外径/mm	157	157	157	76	160	90
干重/(kg·m ⁻¹)	493	493	493	112.15	38.52	24.7
湿重/(kg·m ⁻¹)	428.9	428.9	428.9	107.5	32	4.1
破断载荷/kN	19 297	19 297	19 297	7 009	6 622	7 848

2.3 导缆孔坐标

FPSO 共有 16 个导缆孔,坐标原点位于 FPSO 艏封板、中纵剖面 and 基平面交点处,以船艏至船艉为 x 正向,以左舷为 y 轴正向,导缆孔位置关于中纵剖面左右对称。北海型支持平台共有 10 个导缆孔,坐标原点位于支持平台中横剖面、中纵剖面 and 基平面交点处,以船艏至船艉为 x 正向,以左舷为 y 轴正向,导缆孔位置关于中纵剖面左右对称。导缆孔坐标如表 4 所示。

表 4 导缆孔坐标

编号	FPSO 导缆孔坐标			北海型支持平台导缆孔坐标		
	x/m	y/m	z/m	x/m	y/m	z/m
1	16.2	27.5	6.2	-30.75	36.77	16.6
2	19.8	27.5	6.2	-24.25	36.77	16.6
3	23.4	27.5	6.2	25.2	36.77	16.6
4	27.0	27.5	6.2	28.45	37.1	13.63
5	240.3	27.5	6.2	31.7	36.77	16.6
6	243.9	27.5	6.2	-30.75	-36.77	16.6
7	247.5	27.5	6.2	-24.25	-36.77	16.6
8	251.1	27.5	6.2	25.2	-36.77	16.6
9	16.2	-27.5	6.2	28.45	-37.1	13.63
10	19.8	-27.5	6.2	31.7	-36.77	16.6
11	23.4	-27.5	6.2	-	-	-
12	27.0	-27.5	6.2	-	-	-
13	240.3	-27.5	6.2	-	-	-
14	243.9	-27.5	6.2	-	-	-
15	247.5	-27.5	6.2	-	-	-
16	251.1	-27.5	6.2	-	-	-

3 北海型支持平台无动力定位辅助系泊的运动响应分析

本研究采用时域分析方法,考虑北海型支持平台与 FPSO 的水动力耦合作用,分析上述三种海况下支持平台与 FPSO 靠泊时的运动响应,重点关注舷梯的伸缩长度以及舷梯两端的加速度水平。计算时长为 3 h,步长为 0.5 s。

3.1 舷梯的相对位移

北海型靠泊舷梯长度为 35.95 m,允许伸缩长度为 ± 7.5 m,则舷梯两端固定点允许的长度范围为 28.45~43.45 m。通过舷梯在支持平台上的固定点和在 FPSO 上的搭接点间的无重力缆绳的长度,即可得到舷梯端部在靠泊状态下的相对位移。

(1)满载状态。3 种海况下 FPSO 满载状态不同浪向角下舷梯的相对位移最小值、最大值、平均值统计如表 5 所示。北海型支持平台与满载 FPSO 靠泊时,海况 1 下舷梯的相对位移最小值和最大值均出现在浪向角 180°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 30.95 m 和 41.96 m,未超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。海况 2 下舷梯的相对位移最小值出现在浪向角 180°时,最大值出现在浪向角 30°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 29.62 m 和 42.82 m,未超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。海况 3 下舷梯的相对位移最小值出现在浪向角 180°时,最大值出现在浪向角 120°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 29.41 m 和 48.09 m,最大值超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。

表 5 满载状态下舷梯相对位移极值统计结果

浪向角/ $^{\circ}$	相对位移/m								
	海况 1			海况 2			海况 3		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
0	34.02	37.24	35.52	33.12	38.37	35.31	32.48	37.39	34.93
30	33.67	41.05	36.21	32.80	42.82	36.19	32.99	41.95	36.18
60	35.07	40.14	36.94	34.76	40.22	37.20	34.24	43.44	37.84
90	36.55	38.86	37.36	36.75	41.09	38.12	37.23	45.10	39.39
120	34.72	40.19	37.35	35.53	42.69	38.35	35.16	48.09	39.67
150	33.52	40.54	36.88	33.03	41.19	37.44	32.74	42.56	38.12
180	30.95	41.96	36.66	29.62	41.67	37.10	29.41	42.33	37.56
210	33.06	40.12	36.58	32.94	40.62	37.07	32.21	42.04	37.59
240	34.97	39.63	37.10	35.15	42.44	37.96	34.63	46.81	39.00
270	36.43	38.65	37.23	36.58	40.77	37.97	37.07	44.92	39.18
300	34.79	39.39	36.80	34.61	39.98	37.11	34.18	43.27	37.86
330	33.76	39.58	35.99	32.97	41.09	35.92	33.08	40.45	35.94

(2)压载状态。3 种海况下 FPSO 压载状态不同浪向角下舷梯的相对位移最小值、最大值及均值统计如表 6 所示。北海型支持平台与压载 FPSO 靠泊时,海况 1 下舷梯的相对位移最小值出现在浪向角 180°时,最大值出现在浪向角 30°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 29.07 m 和 41.41 m,未超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。海况 2 下舷梯的相对位移最小值出现在浪向角 180°时,最大值出现在浪向角 30°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 27.65 m 和 44.04 m,均超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。海况 3 舷梯的相对位移最小值出现在浪向角 180°时,最大值出现在浪向角 120°时,最小相对位移和最大相对位移分别为 29.29 m 和 43.61 m,最大值超出北海型支持平台靠泊舷梯允许的工作范围。

表 6 压载状态下舷梯相对位移极值统计结果

浪向角/ $^{\circ}$	相对位移/m								
	海况 1			海况 2			海况 3		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
0	34.19	36.51	35.28	33.23	37.26	35.18	32.67	37.67	35.02
30	33.69	41.41	36.27	32.97	44.04	36.44	32.23	43.2	36.59
60	34.33	38.52	35.99	33.47	38.4	36.02	33.12	39.69	36.08
90	35.43	37.45	35.82	35.35	37.37	35.94	35.36	38.7	36.1
120	33.41	37.71	35.51	33.44	40.42	35.82	33.13	43.61	36.16
150	31.55	38.58	35.05	30.63	38.96	35.14	30.27	41.89	35.24
180	29.07	40.26	35.08	27.65	40.44	35.22	29.29	42.57	35.33
210	31.27	38.49	35.02	30.65	38.91	35.14	29.83	42.54	35.26
240	33.82	37.53	35.57	33.56	39.84	35.86	32.88	42.41	36.17
270	35.4	37.35	35.79	35.37	37.33	35.89	35.4	38.63	36.04
300	34.07	37.83	35.85	33.08	37.97	35.85	32.64	39.46	35.89
330	33.61	39.67	35.96	33.19	41.87	36.04	32.6	41.57	36.1

3.2 北海型支持平台侧舷梯固定点加速度

FPSO 满载状态和压载状态时,3 种海况不同浪向角下北海型支持平台侧舷梯的固定点合成加速度最大值统计如表 7 所示。可得海况 1 舷梯在支持平台侧的固定点处加速度在 FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 0.530 m/s^2 和 0.512 m/s^2 ,分别出现在浪向角 180° 和 270° 时;海况 2 舷梯在支持平台侧的固定点处加速度在 FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 0.739 m/s^2 和 0.796 m/s^2 ,均出现在浪向角 180° 时。海况 3 舷梯在支持平台侧的固定点处加速度在 FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 0.739 m/s^2 和 0.796 m/s^2 ,均出现在浪向角 180° 时。

表 7 舷梯固定点合成加速度最大值

(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

浪向角/ $^{\circ}$	海况 1		海况 2		海况 3	
	满载状态	压载状态	满载状态	压载状态	满载状态	压载状态
0	0.308	0.205	0.259	0.205	0.368	0.362
30	0.384	0.369	0.337	0.361	0.454	0.520
60	0.418	0.399	0.374	0.385	0.441	0.516
90	0.503	0.503	0.558	0.565	0.668	0.527
120	0.421	0.415	0.392	0.396	0.601	0.609
150	0.410	0.407	0.396	0.395	0.571	0.671
180	0.530	0.473	0.472	0.473	0.739	0.796
210	0.426	0.424	0.423	0.431	0.632	0.738
240	0.466	0.458	0.416	0.422	0.681	0.709
270	0.519	0.512	0.568	0.555	0.700	0.524
300	0.377	0.379	0.358	0.348	0.443	0.458
330	0.316	0.324	0.299	0.323	0.396	0.431

3.3 舷梯搭接点加速度(FPSO 侧)

3 种海况 FPSO 满载状态和压载状态时,不同浪向角下 FPSO 侧舷梯的固定点合成加速度最大值统计如表 8 所示。海况 1 舷梯在 FPSO 侧的搭接点处的加速度在 FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 0.544 m/s^2 和 0.934 m/s^2 ,分别出现在浪向角 240° 和 120° 时。海况 2 舷梯在 FPSO 侧的搭接点处的加速度在

FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 0.819 m/s^2 和 0.959 m/s^2 , 均出现在浪向角 120° 时。海况 3 舷梯在 FPSO 侧的搭接点处的加速度在 FPSO 满载状态和压载状态下的最大值分别为 1.218 m/s^2 和 1.977 m/s^2 , 分别出现在浪向角 240° 和 120° 时。

表 8 舷梯搭接点合成加速度最大值

(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

浪向角/ $^\circ$	海况 1		海况 2		海况 3	
	满载状态	压载状态	满载状态	压载状态	满载状态	压载状态
0	0.169	0.213	0.243	0.330	0.398	0.473
30	0.236	0.263	0.376	0.456	0.490	0.651
60	0.471	0.703	0.809	0.877	1.088	1.625
90	0.527	0.829	0.703	0.931	0.917	1.378
120	0.538	0.934	0.819	0.959	1.206	1.977
150	0.280	0.419	0.521	0.604	0.737	1.108
180	0.342	0.530	0.457	0.639	0.690	0.979
210	0.284	0.424	0.520	0.601	0.735	1.095
240	0.544	0.926	0.816	0.955	1.218	1.948
270	0.519	0.825	0.688	0.905	0.910	1.331
300	0.472	0.697	0.803	0.857	1.098	1.612
330	0.243	0.270	0.376	0.461	0.491	0.655

4 结束语

研究发现, 舷梯在支持平台侧的固定点处加速度受 FPSO 吃水状态影响不大, 而舷梯在 FPSO 侧的搭接点处的加速度与 FPSO 的吃水状态相关性较大, FPSO 处于满载状态时舷梯搭接点处的加速度要明显比 FPSO 处于压载状态时大得多。此外, 无动力定位辅助系泊的北海型支持平台靠泊 FPSO 时, 无论处于满载状态还是压载状态, 在海况 1 和 2 条件下舷梯的相对位移均未超出舷梯允许的伸缩范围, 而在海况 3 条件下舷梯相对位移超出允许的伸缩范围。

参考文献:

- [1] 姜河蓉, 操安喜, 金允龙. 深水半潜式支持平台靠泊海洋生产平台碰撞场景[J]. 中国航海, 2020(1): 45-49.
- [2] 陈晓锋. 半潜支持平台与 FPSO 靠泊运动频域水动力性能研究[J]. 船舶标准化工程师, 2021(4): 44-53.
- [3] 刘峥, 李焱, 王浩, 等. 两平台靠泊状态耦合运动响应分析[J]. 大连理工大学学报, 2019(5): 501-508.
- [4] 张会良, 魏军, 肖振业. 标准型半潜式支持平台靠泊连接方案设计研究[J]. 南通航运职业技术学院学报, 2020(2): 52-59.

(责任编辑: 张 利)

(下转第 86 页)

[5]陈晨,夏青山.高职院校实践育人创新创业基地建设探究[J].继续教育研究,2018(12):65-70.

[6]张海森,姜军,季金震,等.江苏省现代信息产业开放式创新的扶持政策研究[J].绿色科技,2019(22):245-247.

(责任编辑:范可旭)

Research on Problems and Countermeasures of Innovation and Entrepreneurship Education in Higher Vocational Colleges Under the Background of Deep Integration of Production and Education

JIANG Jun, ZHANG Hai-sen

(School of Transport Management, Nanjing Vocational Institute of Transport Technology, Nanjing 211188, China)

Abstract: The core of integration of production and education is to realize the cultivation of talents for innovation and entrepreneurship. Through the integration of production and education, the needs of the industry and the cultivation of talents can be effectively connected, so as to form the integrated development and symbiosis of education and industry. By analyzing the dynamic mechanism of innovation and entrepreneurship education sharing and cooperation and the main problems under the background of deep integration of production and education in higher vocational colleges, corresponding countermeasures are discussed from five aspects: promoting the deep integration of production and education to expand the path of integration of production and education; shaping a teacher's team for innovation and entrepreneurship practice by both induction and cultivation, and internal exchange; improving the innovation and entrepreneurship practice platform of deep integration of production and education to promote the quality of project development; strengthening the deep integration of production and education and construction of collaborative innovation network to promote the transformation of innovation value; and enhancing the protection of intellectual property rights in innovation and entrepreneurship to ensure the commercial interests of integration of production and education.

Key words: deep integration of production and education; innovation and entrepreneurship; higher vocational colleges

(上接第 81 页)

Response Analysis of North Sea Type Support Platform of Non-Dynamic Positioning Auxiliary Mooring and FPSO Berthing Motion

WU Cheng-en, QIU Shao-hua

(Marine Engineering and New Energy Research and Development Center,
Nantong COSCO Shipping Shipyard Engineering Co., Ltd., Nantong 226006, China)

Abstract: The North Sea type support platform and FPSO safe berthing is of great significance to the production of FPSO. Taking the typical North Sea type semi-submersible support platform as the research object, on the basis of the hydrodynamic analysis, the time domain berthing motion response analysis under the combined action of wind, wave and current load is carried out. By studying the motion response of the North Sea-type support platform of non-dynamic positioning assistance mooring and the FPSO berthing motion response, the relative displacement of berthing gangway and the acceleration of gangway at the support platform and the FPSO side of the fixed point and lap joint are statistically analyzed, so as to determine the sea conditions under which the relative displacement of berthing gangway meets the expansion and contraction requirements of the gangway.

Key words: North Sea type support platform; FPSO; berthing; motion response

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>