

FSRU码头防台系泊布置与研究

黄习文

上海中远海运重工有限公司 上海 200231

摘要: FSRU因货舱高出主甲板, 导致其纵向投影面积较一般船舶更大, 因此同等风力情况下, 其纵剖方向受到风力往往较大。尤其当台风来临时, 系泊码头的FSRU在风力、流力和浪力联合作用下, 其系泊安全面临严峻挑战。

关键词: FSRU; 防台; 系泊布置; 风力; 缆绳张力

引言

FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) 是浮式储存和再气化装置的简称, 在其建造或改装过程中, 一般会长期靠泊船厂码头。FSRU本身价值极高, 体积庞大, 如发生断缆事故, 船舶将失去控制, 会造成严重的经济损失, 且对其他船舶和人员造成严重威胁, 因此, 其系泊安全尤为重要。相比于普通船型, OCIMF对于超大型油轮VLCC和LNG运输船相关系泊布置有明确的规定和要求。本文将某大型FSRU靠泊船厂不同码头状况下进行系泊布置, 进而分析其各缆绳受力状况, 得出最佳防台系泊方案。

1 FSRU 码头防台系泊布置

1.1 FSRU船型主要参数

本文涉及的FSRU, 为一艘舱容13700立方米的球罐型LNG船改装而成, 其船型主要参数如表1所示:

表1 船型主要参数

船长	290 米
垂线长	276 米
型宽	46 米

续表:

型深	25.5 米
压载状态纵向受风面积	11058 平方米 (等效)
压载状态横向受风面积	2139 平方米 (等效)
水线下横向投影面积	300 平方米
水线处纵向受浪长度	284 米
水线处横向受浪长度	46 米

1.2 1号码头系泊布置

FSRU在1号码头系泊布置如图1所示, 1号码头前沿缆桩安全载荷为150t, 数量较多, 但由于与船舷距离过近, 只能用于倒缆、首缆或尾缆。后沿只有3个缆桩, 安全载荷为200吨, 因此, 需充分利用此3个缆桩布置横缆。整套系泊系统缆绳数量为18根, 每个码头缆桩只带2根缆绳。除1号缆绳紧固在艏甲板双柱缆桩, 17、18号缆绳紧固在快速脱缆钩外, 其余各缆绳均系固在原船系泊绞车滚筒上, 绞车刹车力约为100吨。其中, 1、2号缆绳起首缆作用, 3~6号缆绳起艏部横缆作用, 7~10号缆绳起艏部倒缆作用, 11、12号缆绳起尾部倒缆作用, 13~16号缆绳起尾部横缆作用, 17、18号缆绳起尾缆作用。

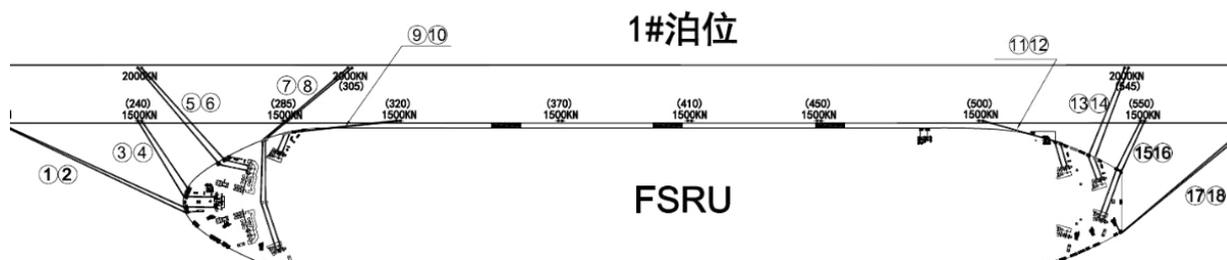


图1 FSRU 1号码头常规系泊布置

1.3 2号码头系泊布置

FSRU在2号码头系泊布置如图2所示, 相比于1号码头, 2号码头系泊条件更为优越, 不仅后沿缆桩数量较多, 且所有缆桩安全载荷均为200吨, 因此可以布置较多

横缆以抵御较大风力。整套系泊系统缆绳数量为28根, 每个码头缆桩依然只带2根缆绳。其中, 1~4号缆绳为首缆, 9、10号缆绳为首倒缆, 19、20号缆绳为尾倒缆, 25~28号缆绳为尾缆, 其余缆绳全部为横缆, 总数为16

根。船舶甲板方面，1号缆绳系固在甲板缆桩，11~18号快速拖缆钩，其余各缆绳均引自原船绞车滚筒，数量为缆绳系固在船舶外板埋入式缆桩，27、28号缆绳系固在 17根。

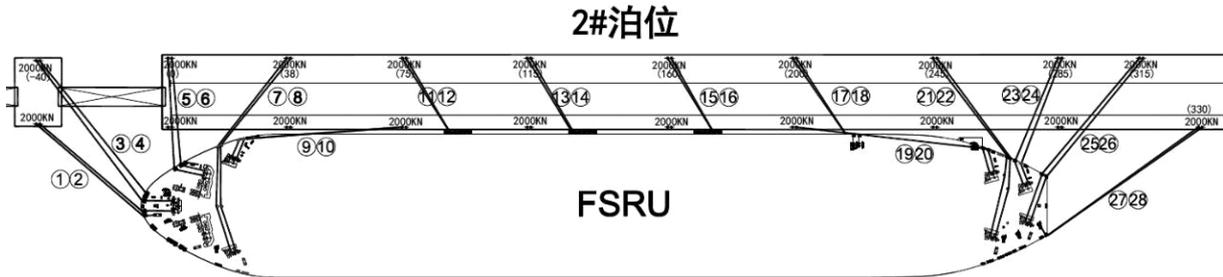


图2 FSRU 2号码头常规系泊布置

2 环境载荷

2.1 风力

FSRU系泊码头时，水线面以上区域受到较大风压力，尤其是纵剖区域。风力计算拟采用如下公式：

$$F_w = 0.0623V^2 C_s C_H A_w, kg$$

其中， C_s -形状系数。本船外形为常规船型，系数取1； C_H -高度系数。表1中已将本船高处投影等效换算成系数为1的面积

A_w -受风投影面积。见表1数据；

V-风速，m/s。12级防台系泊取风速36.9m/s。

通过以上公式，可以算得，FSRU靠泊码头时纵向风力约为938吨，横向风力约为182吨。

2.2 流力

FSRU系泊码头时，受长江水流和涨潮影响，纵向两方向均会受到一定的流力作用，流力拟采用如下公式：

$$F_c = 0.5\gamma V^2 A_c C_{DC}/g, ton$$

其中， γ -水密度。本船位于长江口，密度取1.000t/m³；

A_c -受流投影面积。见表1数据；

C_{DC} -流阻系数。本船为常规流线船型，流阻系数取值0.35；

V-流速，m/s。根据长江口水文数据，流速取值2.0m/s。

g-重力加速度。9.81m/s²

通过以上公式，可以算得，FSRU靠泊码头时纵向受流力约为22吨，相对于风力，该值偏小。且流向存在上下游的可能，核算缆绳张力时需充分考虑流力方向。

2.3 浪力

FSRU系泊码头时，会受到涌浪作用，当浪朝向码头时，其力由码头护舷吸收，缆绳此时不受力，且不存在由码头向外的浪力，因此系泊计算时可不考虑纵向浪力，浪力拟采用如下公式：

$$F_d = \gamma L C_w H_w^2 / 16, ton$$

其中， γ -水密度。本船位于长江口，密度取1.000t/m³；

L-受浪投影长度。见表1数据；

C_w -波浪反射系数。本船取值1.02；

H_w -有义波高，m。根据长江口水文数据，有义波高取值2m。

通过以上公式，可以算得，FSRU靠泊码头时横向浪力约为12吨。

2.4 载荷工况

FSRU系泊码头，其综合受力工况如表2所示。其中0°时，风力由船艏向船艉，但流力和浪力可能X+和X-方向，此时统一取与风力相同方向；90°时，风力和浪力均指向岸边，此时缆绳不受力，该工况下，只有流力和横向浪力；180°时，情况与0°类似，风力由船艉向船艏；270°时，除受较大Y+方向的风力外，还有局部横向浪力和流力。

表2 风浪流综合工况

系泊力	风浪角度			
	0°	90°	180°	270°
	12级	12级	12级	12级
风力(ton)	182 (X-)	0	182(X+)	938(Y+)
流力(ton)	22(X±)	22(X±)	22(X±)	22(X±)
浪力(ton)	12(X±)	12(X±)	12(X±)	12(X±)
合力 (ton)	216	34	216	Y938, X34

3 缆绳张力及码头缆桩校核

充分利用表格函数，考虑船舶横移时各缆绳Y向变形

值相同，以及缆绳与码头平面三角函数关系，缆绳形变与受力假定成线性关系，使用表格数据快速计算出各缆

绳张力情况，继而校核码头缆桩总的受力状况。

3.1 缆绳张力

FSRU在1号码头系泊时部分缆绳受力状况如表3所示。从数据可以看出，在台风风力作用下，作为横缆的

3~8，13~16号缆绳全部超负荷，尤其是15、16号缆绳，由于其横向长度最短，在船舶因风力横移情况下，受力最大，最先断裂。因此，该码头不适合用于FSRU防台系泊。

表3 1号码头系泊部分缆绳张力

缆绳和甲板系固点校核							
缆绳编号	缆绳拉力 (吨)				缆绳安全载荷	甲板系固点安全载荷	结论
	0°	90°	180°	270°			
	12级	12级	12级	12级			
3	27.79	2.83	0	104.22	63t	100t 绞车	超负荷
4	27.79	2.83	0	104.22	63t	100t 绞车	超负荷
5	26.93	2.74	0	74.01	63t	100t 绞车	超负荷
6	26.93	2.74	0	74.01	63t	100t 绞车	超负荷
7	0	0	27.43	67.12	63t	100t 绞车	超负荷
8	0	0	27.43	67.12	63t	100t 绞车	超负荷
13	0	0	17.02	118.72	63t	100t 绞车	超负荷
14	0	0	17.02	118.72	63t	100t 绞车	超负荷
15	0	0	29.93	172.23	63t	100t 绞车	超负荷
16	0	0	29.93	172.23	63t	100t 绞车	超负荷

FSRU在2号码头系泊时各缆绳受力状况如表4所示。从表中可以看出，张力最大的缆绳为15、16号，达到61.74吨，接近缆绳的最大安全载荷。其余各横缆受力也接近63吨的最大载荷，说明横缆在此布置中承受了绝

大部分风力，而纵缆各缆绳受力状态依然较理想。在码头各缆桩已经充分利用情况下，虽然该系泊布置满足使用要求，但大部分缆绳受力达到了极限，依然是较危险状态。

表4 2号码头系泊部分缆绳张力

缆绳和甲板系固点校核							
缆绳编号	缆绳拉力 (吨)				缆绳安全载荷	甲板系固点安全载荷	结论
	0°	90°	180°	270°			
	12级	12级	12级	12级			
E							
5	1.97	0.2	0.00	56.90	63t	100t winch	OK
6	1.97	0.2	0.00	56.90	63t	100t winch	OK
7	0	0	25.77	50.94	63t	100t winch	OK
8	0	0	25.77	50.94	63t	100t winch	OK
11	24.47	2.49	0.00	60.50	63t	150t bollard	OK
12	24.47	2.49	0.00	60.50	63t	150t bollard	OK
13	24.08	2.45	17.02	61.57	63t	150t bollard	OK
14	24.08	2.45	17.02	61.57	63t	150t bollard	OK
15	24.02	2.45	29.93	61.74	63t	150t bollard	OK
16	24.02	2.45	29.93	61.74	63t	150t bollard	OK
17	25.39	2.59	19.53	57.64	63t	150t bollard	OK
18	25.39	2.59	19.53	57.64	63t	150t bollard	OK
21	18.51	1.89	0	50.79	63t	100t winch	OK
22	18.51	1.89	0	50.79	63t	100t winch	OK
23	0	0	19.42	56.01	63t	100t winch	OK
24	0	0	19.42	56.01	63t	100t winch	OK

3.2 码头缆桩校核

550的缆桩均超负荷，其余缆桩受力满足使用要求。

1号码头缆桩受力状况见表5，编号为240F、545和

表5 1号码头部分缆桩校核结果

码头缆桩校核结果						
缆桩编号	缆桩受力 (吨)				缆桩安全载荷 (吨)	结论
	0°	90°	180°	270°		
[240F]	55.57	5.66		208.43	150	超负荷
[545]			34.04	237.43	200	超负荷
[550]			59.86	344.46	150	超负荷

2号码头缆桩受力状况见表6，2号码头各缆桩安全载
荷均为200吨，适合船舶防台系泊布置。载荷最大值为编
号160A的缆桩，达到123.49吨，其余各缆桩受力较为均

衡，因此，该种系泊布置下，可认为码头系泊设备处于
安全状态。

表6 2号码头缆桩校核

码头缆桩校核结果						
缆桩编号	缆桩受力 (吨)				缆桩安全载荷 (吨)	结论
	0°	90°	180°	270°		
[75A]	48.95	4.99	0	121.0	200	OK
[115A]	48.17	4.91	0	123.13	200	OK
[160A]	48.03	4.89	0	123.49	200	OK
[200A]	50.77	5.17	0	115.28	200	OK

4 结束语

本文对FSRU在两种不同码头和不同系泊模式下进行
了缆绳和码头缆桩的校核，得出1号码头不能用于防台系
泊，2号码头可用于防台系泊，但缆绳数量需要增加到28
根。这种情况，可认为该系泊形式为安全的码头防台系
泊。该系泊模式在2022年超强台风“梅花”登陆时，经住
了考验。其时，本地气象站测得最大瞬时风力为14级。

船舶在实际系泊过程中，很难满足以上要求。因此，在
实际防台过程中，需实时监控各缆绳状态，防止个别
缆绳受力集中或过于松弛。当有预报大于12级风力出现
时，应考虑增加更多缆绳或加负载水以减小受风面积，
进而降低纵向风力。

参考文献

[1] 英国劳氏船级社 Long-term Nearshore Positional Mooring System. 2019
 [2] OCIMF Mooring Equipment Guidelines 4 2018
 [3] 中国船级社GUIDELINES FOR TOWAGE AT 海上拖航指南 2011

2号码头系泊时，部分缆绳达到载荷极限，需要予以
重视。同时需要注意到，缆绳张力计算基于各缆绳材质
一致、直径一致，且均已预紧到要求的预紧值为前提，

作者简介：黄习文（1983-），男，湖北黄冈人，中
级工程师，本科，主要从事船舶结构舾装设计。