

球罐型FSRU货舱修改技术研究

黄习文

上海中远海运重工有限公司 上海 200231

摘要:球罐型FSRU一般由球罐型LNG运输船改装而来。在改装过程中,需要在球型货罐内增加液货泵系统,以便将货舱内液态天然气转驳至再气化工厂。MOSS型FSRU货舱为球形结构,材质一般为铝合金5083。货舱内增加液货泵的同时,相应的需要增加液货泵基座、增加液货管支撑、穹顶绝缘盘修改等。本文将基于某MOSS型FSRU改装,对以上修改进行相关技术研究。

关键词: MOSS型FSRU; 再气化; 铝合金5083; 绝缘盖

0 引言

FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) 是浮式储存和再气化结构的简称,一般长期停靠在服务码头,接收来自LNG运输船内的液态天然气,然后使用船上再气化工厂将超低温液态天然气转换成可直接使用的常温气态天然气,通过管路输送至岸上电站、工厂等普通终端用户。

MOSS型FSRU改装过程中,需要在船上增加再气化工厂,而再气化工厂转换所需的液态天然气均来自球形货罐。因此,需要在球形货舱内增加额外的液货驳运系统,以便为再气化工厂提供源源不断的液态天然气。本文将基于某13.7万 m^3 球罐型FSRU改装,对其货舱内修改结构进行分析研究,确保修改后的货舱满足FSRU的使用要求。

1 MOSS型FSRU货舱布置特点

1.1 球罐型FSRU原货舱布置

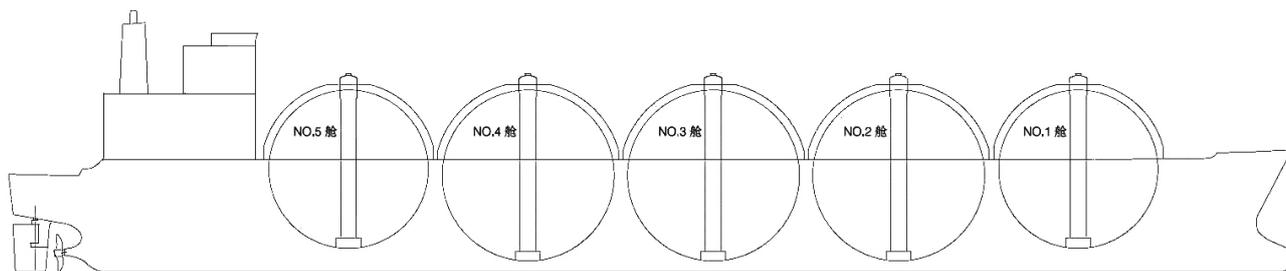


图1 FSRU货舱布置

泵塔结构中间主体直径3.6米,底部直径5.3米,内设12层平台结构。泵塔内集中布置有2台液货泵,1台喷淋泵,1根直径350毫米注入管,2根直径300毫米液货管以及1根直径350毫米蒸汽管。泵塔顶部第一层平台为厚度150毫米的中空绝缘盖,内部填充聚氨酯泡沫,以保证泵塔顶部的保温效果,从而满足设计要求的0.15%日蒸发率。

1.2 货舱改造要求

本文涉及的FSRU为一艘舱容13.7万 m^3 的球罐型大型LNG船改装而成。如图1所示,货舱由5个铝合金球罐组成。其中,1舱和5舱货罐直径35.74米,2~4舱货罐直径38.62米。每个货舱中部布置有直径3.6米,高度约40米的泵塔。人员下舱梯道以及所有液货管路、电缆和液货设备均集中布置在泵塔结构内。

表1 船型及货舱主要参数

船长	290米
垂线长	276米
型宽	46米
型深	25.5米
NO.1&NO.5舱货罐直径	35.74米
NO.2~NO.4舱货罐直径	38.62米
NO.1&NO.5舱泵塔高度	39.27米
NO.2~NO.4舱泵塔高度	42.17米
泵塔直径	3.6米

按照改装要求,需在原船No.1~3货舱内各新增一套流量为320 m^3 的液货泵,以满足再气化工厂要求。新增的液货泵泵本体以及马达,均浸入LNG内,位于泵塔底部,其顶部通过法兰与直径300mm液货管相连,液货管连同液货泵固定在泵塔顶部穹顶结构上,其在各层平台均设置有尼龙限位块,以降低液货管的抖动。

基于以上泵塔布置,新加液货泵及其连接管的构造

类似一根长度40米的杆件，端部液货泵存在高速旋转运动，液货泵XY方向振动较大，因此需要在泵塔底部增加液货泵限位结构。除此之外，还需增加液货管及液货泵在穹顶的吊架结构，穹顶顶部绝缘盖管子开孔以及人孔盖修改等。

因此，货舱内修改主要包括以下三部分：

- 1) 液货泵限位结构；
- 2) 液货泵吊架支撑结构；
- 3) 穹顶绝缘盖修改；

2 FSRU 货舱修改分析

2.1 液货泵限位结构

新加液货泵实际悬挂在穹顶结构上，其下端马达高速旋转时，会导致整个液货泵及其相连的液货管和支撑结构在XY方向振动较大，将影响货舱罐体的疲劳寿命。因此，需要在液货泵端部增加限位结构，以降低其在XY方向的振动幅度。同时考虑货舱加注LNG时产生的剧烈温差变化，货泵及其连接管将在Z方向产生较大的下沉运动。因此，限位结构与液货泵不能刚性连接。

根据液货泵图纸理论位置，在泵塔底部圆形围壁上寻找合适的限位固定点，并尽量避开围壁上人孔位置。整个限位结构包含两部分，一部分为底座结构，其根部与泵塔围壁结构焊接，另一部分为可调节部分。考虑泵振动对货罐结构造成的潜在疲劳损伤，底座结构尽可能使用软趾形式。底座端部为厚度20毫米的方形铝板，设有4个直径22毫米的螺栓孔，用以固定调节部分，螺栓孔现场配钻。调节部分待液货泵安装到位后根据其实际位置通过螺栓孔调整，使液货泵在+X和-X方向上限位。调节部分另一面板设有6个直径18毫米的螺栓孔，用于固定两段长度为270毫米的75X75X8的角铝。该两段角铝形成滑槽结构，既限制液货泵在+Y和-Y两向振动，也可使其

在+Z和-Z两个方向自由运动。

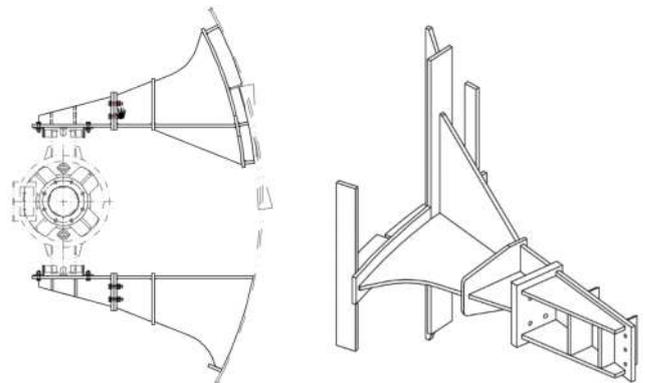


图2 液货泵限位结构

2.2 液货泵吊架支撑结构

新加液货泵与液货管形成高度约40米的杆件，其下口未有刚性固定构件，因此其上口需使用刚性固定形式。同时，考虑到泵振动较大，所有的振动均会传递到刚性固定的上口，因此上口的固定结构尤其需要考虑疲劳影响。基于此，上口需增加能减少疲劳影响的吊架支撑结构。

穹顶顶部实际为直径4米的锅盖头，铝板厚度25mm，其内部没有加强构件，吊架支撑需要固定在穹顶板上，同时又要避免应力集中，降低液货泵振动对穹顶结构的影响。因此，拟在穹顶有限空间内采用环形吊架结构，顶部环形铝板长度1477毫米，宽度230毫米，高度150毫米，铝板材质5083，厚度12毫米。垂直主结构使用75x12扁铝作为加强，其端部设计R250毫米长软趾结构，以降低应力。主结构与管段腹板连接部分亦采用R50毫米软趾形式，其与管腹板采用满焊型式。腹板四角亦采用R35毫米软趾形式，其与液货管本体在XY方向满焊，肢端满焊，Z方向不予焊接。

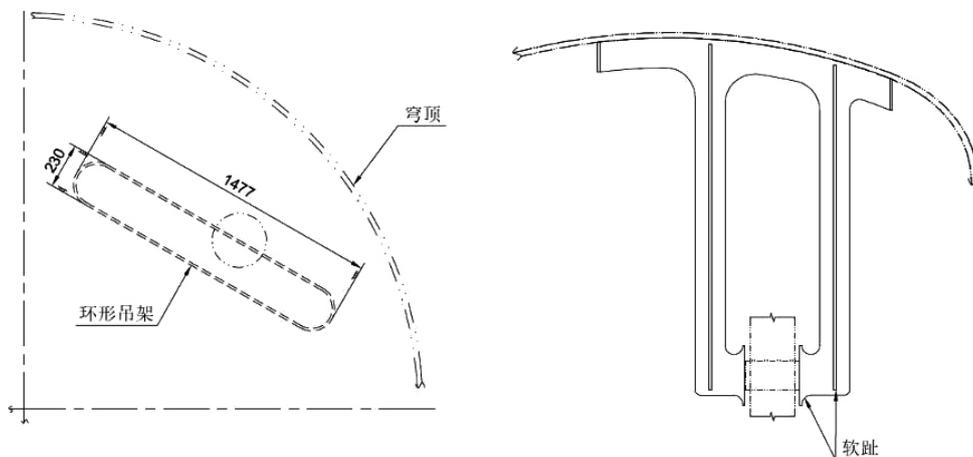


图3 吊架支撑结构

2.3 穹顶绝缘盖修改

原船在穹顶第一层平台处布置有一直径3880毫米的绝缘盖，绝缘盖厚度150毫米，内部填充聚氨酯泡沫，其主要用于减少穹顶区域低温环境受外部常温环境的影响，降低货舱的蒸发率。绝缘盖布置有10个大小不一的管电开孔，另外还有2个自带绝缘小舱盖的较大开孔，直径1100毫米的孔用于泵检修，500x700方形孔用于人员通行。绝缘盖置于平台结构上，四周使用限位块防止其在XYZ三个方向的运动。

根据新加液货管穿舱位置布置，其中心刚好下穿绝缘盖下舱人孔盖处，并且该新加管段还影响平台支撑结构。经过分析研究，拟定的具体修改方案为，人孔盖向左后方整体调整位置，原绝缘盖开孔进行封堵，封堵内部填充聚氨酯泡沫；下舱直梯对应调整位置，其角度由原80°调整至90°；原支撑结构取消2段槽铝，新增3段连接槽铝。其中，绝缘盖的开孔修改是难点。拟采用冷切割方式进行新开孔的切割，并扩大绝缘切割到焊缝距离约

50毫米，切除焊接影响区内绝缘。原开孔上下使用铝板焊接封堵，顶部开 $\varnothing 25$ 毫米灌注孔。为避免聚氨酯绝缘出现空洞，将聚氨酯加注设计为过量填充，发泡时使用秒表严格控制注料时间。加注后，排气孔溢出聚氨酯时，说明内部空气已完全排除，及时将排气孔封堵。待聚氨酯熟化后，切割、打磨溢出的聚氨酯泡沫，在加注孔及排气孔上安装铝板进行封堵。

3 结构应力分析

使用有限元模型分析了液货泵限位结构及穹顶吊架结构的应力状况，其中铝合金5083材料屈服强度145MPa，密度2660kg/m³，杨氏模量7.10x10¹⁰次方，泊松比0.33。通过模型分析，液货泵限位结构最大应力点在固定基座腹板最顶端，最大应力值为37.3MPa。穹顶吊架结构最大应力点位于吊架与管子焊接固定趾端处，最大应力值为40.2MPa。从计算获得的应力值来看，两受力构件均满足使用要求。

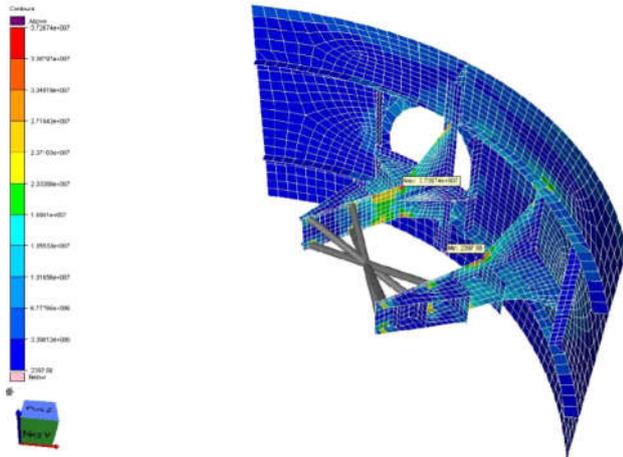


图4 限位结构应力状态

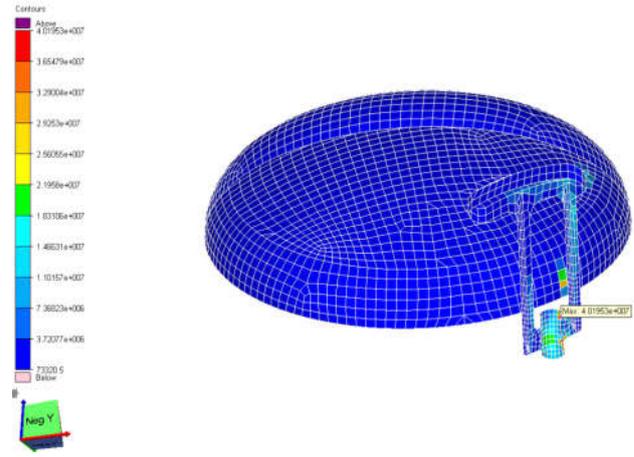


图5 穹顶吊架应力状态

4 结束语

本文通过对MOSS型FSRU货舱内修改进行系统的分析和研究，包括液货泵限位结构的布置设计和应力分析、穹顶液货泵吊架结构布置和分析以及穹顶绝缘盖修改方案分析。总结一套铝合金球罐货舱内舾装件的修改方案和经验，从应力分析结果以及实船气试试验结果来看，均满足使用要求，达到较理想状态。

FSRU所装载的液态天然气为超低温材料，在加注过程中，MOSS型铝合金球形货罐结构以及内部附属结构均

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。

会因巨大温差而产生较大收缩运动。该运动值只能通过理论计算得出，与实际可能存在差异，因此在设计中需加放一定余量，比如液货泵限位结构中的滑槽高度，在满足结构强度前提下尽可能做高，以防止液货泵因收缩运动过大而滑出限位槽。

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