

大型集装箱船LNG双燃料供气系统改装关键技术研究

陈国刚

上海中远海运重工有限公司 上海 200122

摘要: 随着国际海事组织(IMO)对船舶柴油机排放的控制标准更加严格,需要采取必要措施来降低柴油机排气中 NO_x 、 SO_x 、 CO_x 和颗粒(PM)排放量,结合13500TEU集装箱船LNG双燃料改装技术研究,对LNG供气系统和相关设备进行阐述,为后续的大型集装箱船双燃料改装提供参考。

关键词: LNG双燃料机,供气系统

引言

鉴于硫氧化物(SO_x)和氮氧化物(NO_x)的危害及人类对环境污染问题的日益关切,国际海事组织和相关国家以公约和法规的形式对船舶 SO_x 和 NO_x 排放加以限制。

表一 船舶燃料油含硫量要求

国际公约	燃油含硫量(%mm)	开始实施时间	地点
国际防污染公约	3.5	2012.1.1	排放控制区以外
	0.5	2020.1.1	
	1.0	2010.7.1	排放控制区内
	0.1	2015.1.1	

表二 船舶 NO_x 排放要求

国际公约	阶段	实施时间	主机转速(RPM)	NO_x 排放极限(g/Kw.h)
国际防污染公约	第一阶段 ¹	2000.1.1-2011.1.1	$N < 130$	17.0
			$130 \leq N < 2000$	$45.0 * N^{-0.2}$
			$N \geq 2000$	9.8
	第二阶段 ¹	2011.1.1以后	$N < 130$	14.4
			$130 \leq N < 2000$	$44.0 * N^{-0.23}$
			$N \geq 2000$	7.7
	第三阶段 ²	2016.1.1以后	$N < 130$	3.4
			$130 \leq N < 2000$	$9.0 * N^{-0.23}$
			$N \geq 2000$	2.0

注: 1 适用于排放控制区外航行船舶

2 适用于排放控制区内航行船舶

为了降低污染气体排放,各个航运企业采取措施如下:

1. 使用低硫油
2. 加装船舶脱硫和脱硝设备
3. 采用LNG燃料或其他清洁能源代替燃油

本文以13500TEU集装箱船LNG双燃料改装为研究目标,对供气系统和相关设备进行分析 and 选型。

1 船型概况

13500TEU集装箱船主要技术参数如下:

表3

主要参数	数值	主要参数	数值	主要参数	数值
船长(m)	366	设计吃水(m)	13.5	主机功率SMCR(Kw)	48600
型宽(m)	48.2	运行航速(Kn)	23	主机功率NCR(Kw)	41310

2 LNG舱型选择及布置位置

在机舱前壁沿船长方向布置一个C型LNG舱,布置方案特点:

◇ 容积 8500m^3 ,设计压力5.6 bar,可满足30天自持压力;

◇ 布置在机舱前壁区域,管路较短;

◇ 液罐纵向布置,自由液面较小,与横向布置相比稳性好;

◇ 由于C型罐为独立罐,可与船体结构改装同时进行建造,可节约大概3个月的船台周期;

◇ 改装前后总箱位损失约3.7%。

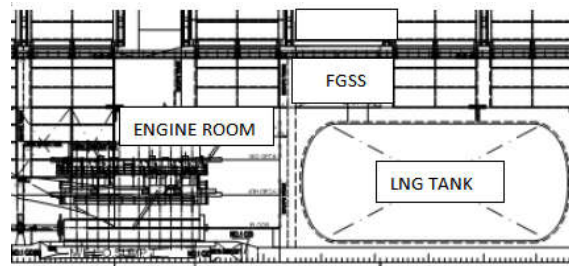


图1 C型LNG舱布置方案

3 主要设备改装方案

表4

序号	设备名称	参数	改装方案	改装后参数
1	主机 MAN B&W 11S90ME	SMCR:48600Kw@76RPM NCR:41310Kw@72rpm	原机改造为ME-GI 双燃料机+SCR	
2	发电机组 WARTSILAR 6L32	2760Kw*6.6KV	换新 WARTSILAR 6L34DF双燃料机	2880Kw*6.6KV
3	辅锅炉 AALBORG AQ-12	7.0t/h*7bar	换新 双燃料锅炉	7.0t/h*7bar

4 BOG 处理方案

续表:

蒸发气 (Boil-off gas), 指气体在其临界温度以下经加压被液化后的低温液体, 因难以与环境绝对绝热, 吸收外界热量而蒸发出的气体。在船舶航行的过程中, 因液舱晃荡及与外界热交换, 部分液体燃料会蒸发为气体, 在液罐中聚集导致压力升高。在 LNG 双燃料船舶上, 这种情况一般仅出现在主辅机运行于燃油模式时, 燃气模式下自然蒸发 BOG 的量通常都不足以支持双燃料机器运行。即使是主辅机极低的负荷下运行时, 例如靠港或停泊, 燃气系统依然需要通过强制蒸发液体燃料来提供足够的燃气。对于双燃料船而言, 燃油模式通常仅作为一项安全措施, 以保证燃气系统故障时船舶仍然具有推进动力。因此, BOG处理对于双燃料船也仅是一种安全措施, 以保证在燃气系统故障, 主辅机无法消耗燃气时, 仍然有能够维持液舱压力的措施。在 IGF 规范中, 对于 BOG 的处理及维持舱压方面规定, 需要有一种能够维持舱压在安全阀设定值以下的方式, 安全阀仅作为应急情况下的压力释放方式。目前主要的维持舱压方式有 GCU, 再液化及罐体蓄压。其中 GCU 为气体燃烧单元(Gas combustion unit), 通常用来集中燃烧处理无法回收的气体燃料。对于使用 GCU 来处理 BOG, 在 LNG 双燃料船舶上, GCU 的功能可通过选配双燃料锅炉实现。若双燃料锅炉作为 GCU 使用, 其容量需满足消耗燃料舱的最大 BOG 产生速率。GCU 在消耗 BOG 后转化成热量并提供一定量的蒸汽, 可用于船舶其它系统的加热用途。

计算和设备选型过程中, 天然气的成分因原产地和处理工艺的差别会有所不同, 依据《有关船上天然气燃料发动机装置安全性临时指南》中要求, 天然气成份体积比按下表进行:

表5

序号	成份	占比	单位
1	甲烷	94%	
2	乙烷	4.7%	
3	丙烷	0.8%	

序号	成份	占比	单位
4	丁烷	0.2%	
5	氮气	0.3%	
6	气体密度	0.73	Kg/sm ³
7	液体密度	0.45	Kg/dm ³
8	热值	49.5	Mj/kg
9	甲烷值	83	

BOG增量及锅炉燃气耗量计算

表6

序号	描述	参数	备注
1	LNG 存储舱	8500 m ³	C型舱
2	LNG舱工作温度	-163℃	
3	蒸发率	0.2%/天	
4	最大装载率	98%	
5	BOG蒸发量	305kg/h	
6	辅锅炉燃气耗量	416kg/h	可以处理产生的BOG

5 LNG 加注方案研究

LNG 加注站一般位于液舱附近, 对于本船, 将加注站设置在上甲板左右两舷侧。加注站布置需要参照最新的 SGMF 指导文件进行。同时加注站除加注管及阀外, 还配置包括鞍座, 栏杆, 不锈钢积液槽及格栅, 手拉行李车以及固定式水喷淋与干粉灭火等设施。

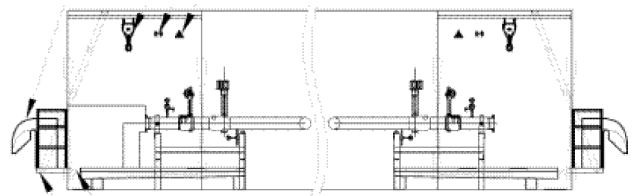


图2 主甲板加注站示意图 (左右舷类似)

6 LNG 燃料系统方案

本船原设置的主机型号为MAN B&W 11S90ME, 将改造为ME-GI 机型, 需要配置高压燃气系统, 其特点是热效率高, 燃油燃气消耗率低。但其废气排放无法直接满足 IMO TIER III 排放要求, 需要加装 SCR。高压供气系统的主要部件为燃料舱, LNG供给泵, LNG增压泵,

高压蒸发器，GVT等。它的特点是主机的供气是通过一组高压泵将燃料从LNG储罐通过高压蒸发器输送至高压缓冲罐，以获得高压燃气供主机使用。

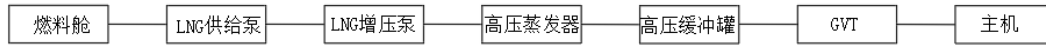


图3 主机高压供气系统流程图

主要设备及参数配置

表7

序号	描述	参数	数量	备注
1	LNG供给泵	10m ³ /h @130mlc, S.G.0.425	3台	3*50%
2	LNG增压泵	8m ³ /h @7000mlc, S.G.0.425	3台	3*50%
3	高压蒸发器	2000kw,7000kg/h,设计压力350/6barg	1台	管壳式
4	高压缓冲罐	100L,350barg	1台	
5	主机燃气耗量	6605kg/h	1台	SMCR条件下

本船新增的双燃料发电机及双燃料辅锅炉需要配置低压燃气系统。它的特点是通过LNG供给泵将燃料从LNG储罐通过低压蒸发器输送至低压缓冲罐，已获得低压燃气用于发电机组和锅炉使用。同时配备一台低压压缩机用于把产生的BOG经过加压后供发电机组和锅炉使用。

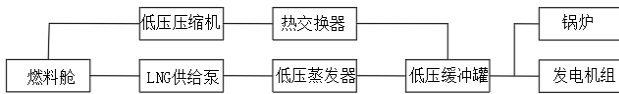


图4 发电机组和锅炉低压供气系统流程图

主要设备及参数配置

表8

序号	描述	参数	数量	备注
1	LNG供给泵	10m ³ /h @130mlc, S.G.0.425	3台	高低压共用
2	低压蒸发器	300kw,900kg/h,设计压力10/6barg	1台	管壳式
3	低压缓冲罐	500L,6barg	1台	
4	发电机组燃气耗量	430kg/h	2台	基于2台MCR工况运行
5	辅锅炉燃气耗量	416kg/h	1台	最大负荷工况

7 水乙二醇加热 / 冷却系统

本船根据需要对燃料或燃气的加热采用乙二醇水作

为二次热交换的中间介质。而对于水乙二醇加热系统，采用蒸汽加热方式。压缩机BOG的后冷器采用了淡水直接冷却方式。

表9

序号	描述	参数	备注
1	水乙二醇循环泵	150m ³ @50mlc	2台
2	水乙二醇加热器	60000 kJ/(°C*h)	1台

8 氮气系统

氮气系统在燃气系统中用于液舱的惰化及燃气管、气缸吹扫。配置两台氮气发生器，则其容量应满足最大连续消耗量。

表10

序号	描述	参数	备注
1	氮气发生器	50Nm ³ /h @ 10barg	2台
2	氮气瓶	15m ³	1台

9 结语

本文分析了13500 TEU集装箱船LNG燃料舱布置，双燃料主机改造，供气系统和辅助系统的设计及设备选型，提供了可行的供气方案。掌握系统中各个设备的选型和参数计算，为后续的大型集装箱船双燃料改装提供参考。

参考文献：

- 1.《天然气燃料动力船规范》.中国船级社.2013
- 2.《国际气体燃料船舶安全规则》.国际海事组织.2012
- 3.《MARPOL附则VI》.国际海事组织.2021