

# 浅析船舶LNG与甲醇双燃料改装方案对比

汪丹萍

上海中远海运重工有限公司 上海 200231

**摘要:** LNG与甲醇作为碳中和的过渡性燃料越来越受到重视,但是两种燃料作为危险品又有着各自的特性。本文依据规范的要求,从两种燃料的特性及在船舶双燃料改装的技术方案、主要设备、采购与施工、成本等方面进行对比,形成一套可用于市场推介的方案研究报告。

**关键词:** LNG与甲醇;碳中和;船舶双燃料改装方案对比

## 引言

随着国际航运事业的不断发展以及海洋生态压力的加深,国际海事组织IMO颁发了“2020全球限流令”进一步减少全球硫排放限额至0.5%,全球范围内燃油 Sulphur content (硫含量)从3.5%直降至0.5% (之前划分的四大排放区仍然实行0.1%的限制)。面对史上最为严格的船舶硫排放的限制要求,各国船东如果在2020年1月1日起继续在污染排放控制区域运营,则船级社根据MARPOL公约要求必须采取使用低硫油、更换双燃料主机使用LNG或甲醇作为替代燃料、安装船舶尾气脱硫设备三种应对措施。LNG和甲醇作为碳中和的过渡性替代燃料越来越受到重视。

## 1 燃料特性对比

LNG是一种液化天然气燃料,主要成分是甲烷,化学分子式为 $\text{CH}_4$ ,低温时为液态,无色无味,易挥发,气体密度比空气轻,常温下为气态,需在 $-163^\circ\text{C}$ 以下液态储存。极少量泄露,会很快转化为天然气,消散在空气中,不会有更多的残留物存在。当泄露超过一定量浓度时,极易出现爆炸事故,属于易燃易爆危险品。

甲醇是一种无色、透明、易挥发,易溶于水的易燃液体,具有较强的毒性。化学分子式为 $\text{CH}_3\text{OH}$ ,和传统燃油相比,其燃烧时的排气烟色清淡,颗粒(PM)排放较少。常温下为液态,泄露后易燃,其蒸气与空气能形成爆炸混合物且人体的神经系统和血液系统影响最大产生中毒反应。

目前获得LNG和甲醇性能参数对比如表1:

表1 LNG和甲醇性能参数对比简表

燃料	供给压力 (bar)	能力密度 (MJ/L)	低热值 (MJ/Kg)	与重油Tier II相比的排放降低(%)			
				SOX	NOX	CO2	PM
LNG ( $-162^\circ\text{C}$ )	16 300	21.2	50	90-99	20-30	23	90
甲醇 ( $65^\circ\text{C}$ )	13	14.9	19.9	90-97	30-50	11	90

## 2 改装方案对比

### 2.1 燃料舱对比

由于舱内所盛货物不一样,导致选用材料结构形式、和建造都存在较大的区别。对于改装成双燃料船舶而言,LNG的容器一般采用液罐结构形式,通过鞍座固定在船上。

LNG罐体和甲醇舱所使用的材料区别很大,LNG在常压零下 $161$ 度以下成液态形式储存,所以对材料有低温要求,常用材料X7Ni9或A5083铝合金,外壳的板厚比较厚。LNG罐体结构形式一般由内部环形结构和外部壳体组成,整体制作难度要高于甲醇舱,罐体制作前需要取得船级社相关的认证,且其材料比常规的碳钢材料采购时间长和要求高,施工场地要求比比碳钢高。故而LNG罐体的制作施工周期比甲醇舱长,施工难度更大,需要对壳体进行曲面加工。焊接要求高,以X7Ni9为例,属于铁素体型钢,具有磁性,在热处理、轧制及运输过程中容易产生剩磁,影响电弧的稳定性;因板厚原因,焊接时需要多道焊层,所以容易留下气孔和产生较大的残余应力,容易出现凝固裂纹。LNG罐体所处的周边为低温环境,对结构所使用的材料要求比甲醇舱高。通常使用D、E和F级材料。

甲醇舱采用普通碳钢,A级钢即可,且结构形式简单,一般采用纵骨架式形式组成,由骨材和梁焊接在板上组成。通常只需要把原船结构隔成水密的舱室即可,但需要特涂,特涂后舱室周边不能再进行任何热工作业以免破坏涂层。

由于LNG的能量密度明显高于甲醇，因此罐体的容积比甲醇舱室小。一般由原船的集装箱舱部分隔出，不需要额外增加双层底分隔，四周采用舱壁分隔，顶部通过甲板与原舱室分隔。需要拆除部分导轨，罐体周围的原船结构材料需要满足低温的要求。而甲醇采用一个集装箱货仓，前后舱壁采用水密舱壁，周边通过隔离舱与其他舱室分隔，底部通过增加底板与原双层底分开，左右舷采用新加纵壁与原舷侧压载舱分隔，顶部新加甲板，中间通过槽型舱壁进行左右舷分舱。甲醇舱相对于LNG罐体舱改动面积大，原船的舱口盖需要移除，装箱量减少个数相对较多。

### 2.2 燃料供应系统与辅助系统对比

根据LNG和甲醇的化学特性可知，在常温环境下，LNG为气态，甲醇为液态。在储存方面，LNG需要低温(-163℃)储存，而甲醇仅仅是常规储存即可，因此在储存和辅助设备的要求上也有较大的区别。

1) 货物围护系统：LNG需要低温储存，需要结构较复杂的货物围护系统，结构通常为C型罐，不锈钢材质且做独立储层空间放置；考虑到日常的蒸发量造成的货物翻滚，需配置CTS系统；根据IGC要求，为防止低温对于船体结构损伤还需配置泄露检测系统以及结构保温

系统；而甲醇为常温液态状态，不需要结构复杂的储层罐，不需要配置CTS系统，低温保护等系统，货舱结构相对简单，改装施工较为简便。

2) 货物输送泵：LNG需要特殊的低温深潜泵和超低温电缆；甲醇采用普通深潜泵及常温电缆即可，价格便宜，安装方便。

3) 高低压压缩机：LNG需要通过多级的压缩机系统将液态天然气(-163℃)加压升温到满足主机和发电机使用的温度(20℃左右)，压缩机价格昂贵，结构复杂；甲醇采用普通离心泵输送液态甲醇燃料即可，无需采用压缩机，成本较低。

4) 换热装置：甲醇燃料为保证进机前温度，需要采用乙二醇换热器进行加热或冷却，设立单独的乙二醇闭式循环系统，乙二醇热量交换通过船上淡水冷却完成，原船淡水系统热平衡需复核并核对原设备容量是否足够。LNG液态不能直接用于主机或发电机，需要预先进行气化，气化热量来源一般采用低压蒸汽。LNG经LNG蒸发器受蒸汽加热气化。蒸发器后配置有专门的气体加热器来保证供气温度。蒸汽量需根据加热量进行核算并核对原船蒸汽系统能否覆盖新增负荷。

甲醇供应系统与LNG供应系统对比如表2：

表2 甲醇供应系统与LNG供应系统对比简表

系统组成	甲醇供应	LNG	对比说明
加注单元	有，无回气，氮气吹扫	有，有回气设计，氮气吹扫	甲醇加注站是LNG加注站的简略版
燃料储罐	常温存储，带压力/真空释放阀	低温存储，-162℃	甲醇燃料存储与常规燃油系统更相似，但因具有腐蚀性，对储罐材质有特殊要求。
增压部件	低压泵+高压泵，两级增压，约13bar	低压主机一级增压，约16bar，高压主机两级增压，约300bar	甲醇与常规燃油系统更相似
换热部件	液液换热，液体形式供给主机	加热气化	甲醇与常规燃油系统更相似
回流、回收系统	无回流，有回收	无回流，无回收罐	甲醇与常规燃油系统更相似，但略有不同，常规燃油系统有回流系统。
水乙二醇系统	需要，改为循环水系统	需要	
泄露检测系统	需要	需要	
通风系统	需要	需要	甲醇易挥发，具有一定的毒性，相比LNG，甲醇的通风要求更高
控制及安保系统	带ESD	带ESD	
氮气供应系统	需要	需要	两者系统相似，压力需求不同

### 2.3 自动化及泄漏监测系统

为了运行甲醇，船舶自动化系统改装设计需要考虑以下主要因素：甲醇燃料加注及储存控制，甲醇供给系统控制，甲醇燃料机及其阀件单元控制，其他辅助系统的控制，安保系统（甲醇气体&液体泄漏探测及船岸监测系统）及与母船的接口设计。船用甲醇燃料系统的设计与LNG液化气供气系统有很多相似之处。

1) 甲醇燃料加注及储存控制系统：LNG和甲醇存储舱均设置液位测量，正常加注过程中，可以实时监测。同时设置溢流监控（高液位报警和高高液位报警），过压/欠压保护阀及声光报警器，保证加注过程中的安全。

2) 甲醇燃料供给控制系统：两者都有燃料供给控制系统，控制所有供给压力设备，包括驳运泵，增压泵，冷却单元等。系统均设置压力安全阀，甲醇改装控制系

统将甲醇液体泄放到甲醇日用柜，避免货舱的污染。而在LNG的供气控制系统中，BOG将直接返回到货舱中。

3) 甲醇燃料机及其阀件单元控制：双燃料机运行的模式包含了使用燃油模式和使用甲醇/LNG模式。从船舶安全性角度来讲，无论采用哪种模式运行或者进行切换模式都不应该间断主推进系统及电站系统的服务，这就意味着改装后的机组控制系统同时服务于两种燃料模式。

4) 辅助系统监测：两者都有双壁管的通风控制及氮气吹扫逻辑控制。依照规范要求，两型船均需要在双壁管内安装有红外探头，气体探测系统的探头在规范中是要求持续监控的，也就是说，取样式的气体探测系统是不满足规范要求，不能使用在双燃料机舱中。而提供惰性气体的目的，在双燃料改装中，均用于燃气吹除及密性测试。

5) 燃料泄漏监测：甲醇改装项目中，需要同时探测甲醇气体和液体泄漏，这个由甲醇的化学特性决定的。而在LNG改装项目中，只有气体探测泄漏。两种均需要配置船岸连接系统，传输船/船之间的ESD信号。

### 3 环保性与成本对比

经过上述特性与改装方案分析，结合公开数据可知：

1) 甲醇加注基础设施比LNG加注基础设施的建造难度更小、造价更低，且甲醇比LNG更容易运输和储存，加注时间也只有后者的一半，更利于普及。

2) 目前，甲醇碳排放高于LNG。但未来，有研究表明随着绿色甲醇成本的降低，甲醇的碳排放量可能比LNG会更低，与传统燃料相比，可再生绿色甲醇可减少高达95%的二氧化碳排放。

3) 甲醇燃料发动机使新建船舶的投资成本增加将会比LNG更低。

4) LNG仍属于石化产品，LNG燃料发动机会出现甲烷逃逸现象，导致在发动机中未充分燃烧的甲烷泄漏到废气中。甲烷会形成地面臭氧，这是一种危险的空气污染物和温室气体。而甲醇在燃烧过程中即便有少量泄漏，也不会像甲烷那样造成全球变暖的后果。因此甲醇作为替代燃料比LNG更加环保。

5) 天然气受市场供需关系和地理位置等因素的影响较大，价格波动较为明显。而甲醇的价格受到生产成本和市场需求等因素的影响较多。

### 4 结论

天然气和甲醇，谁才是航运绿色转型的最优解，目前国际上还是争论不休。随着科技的进步，人们会发现两种燃料各自更多的优缺点，在选择方面更加明确。而中国是富煤贫油少气的国家，是世界最大的甲醇生产国，与LNG相比，甲醇燃料的成本将会更低、价格波动相对更小，前景更加可期。

### 参考文献

- [1] 中国船级社.船舶应用甲醇/乙醇燃料指南, 北京: 中国船级社, 2022.
- [2] 国际海事组织.国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则.北京:中国交通科技出版社, 1985&2000/2004修正案.
- [3] 中国船级社.散装运输危险液体化学品船舶构造与设备规范.北京:中国船级社, 2022.