

“双碳”目标背景下船舶动力技术的自主创新与发展论坛论文专栏

DOI:10.12374/j.issn.1001-4357.2022.01.003

LNG 运输船气体管理系统设计

刘禹霆, 李红波, 王倩倩, 王 瑾

(沪东中华造船(集团)有限公司, 上海 200120)

摘 要: 对液化天然气(liquefied natural gas, LNG)运输船气体管理系统开展设计研究。分析表明: 在不同船舶工况下, 气体管理系统可通过透气桅放气、气体燃烧单元(gas combustion unit, GCU)燃烧、再液化、喷淋、再气化等方式将 LNG 运输船货舱舱压控制在安全范围内; 能够在货舱蒸发气(boil off gas, BOG)量充足或者不足的情况下对主机/发电机组进行燃气供给。在船舶实际运行过程中协调采用多种气体处理模式可保障 LNG 运输船安全稳定运行。

关键词: LNG 运输船; 气体管理系统; 舱压

中图分类号: U663. 83 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4357(2022)01-0010-04

Design of Gas Management System for LNG Carrier

LIU Yuting, LI Hongbo, WANG Qianqian, WANG Jin

(Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: The design of gas management system of liquefied natural gas (LNG) carrier was studied. The analysis shows that: under different ship working conditions, the gas management system can control the cargo tank pressure of LNG carrier within the safe range by means of vent mast venting, gas combustion unit (GCU) combustion, re-liquefaction, spraying and re-gasification; it can supply gas to the main engine or generator set when the boil off gas (BOG) volume in the cargo tank is sufficient or insufficient. During the actual operation of the ship, the coordinated use of multiple gas treatment modes can ensure the safe and stable operation of LNG carrier.

Key words: LNG carrier; gas management system; tank pressure

0 引言

国际海事组织(IMO)发布的“限硫令”(2020年1月1日起全球范围内船用燃油 $\omega(S) \leq 0.50$)以及Tier III法规对 NO_x 和 SO_x 排放的限制, 都表明了国际航运业对环保的重视程度越来越高。液化天然气(liquefied natural gas, LNG)作为高效清洁燃料备受关注。天然气的主要成分是甲烷, 能有效降低硫化物和氮氧化物排放, 实现“绿色造船, 绿色航行”的环保理念。LNG储量充沛, 资源丰富, 经济性高, 且拥有完善的运输体系;

作为燃料, LNG可靠性高, 安全性能好。LNG运输船以及LNG燃料动力船的市场需求日益增长。

LNG运输船有一套完整的气体管理系统, 通过该系统可以实现货舱压力控制、蒸发气(boil off gas, BOG)利用、主副机燃气供应、再气化等功能。随着IMO对船舶排放要求的提高, 越来越多的LNG运输船采用双燃料主机和双燃料发电机以减少燃油消耗, 降低污染物排放。LNG运输船的货舱内存在BOG, 对其加以利用可降低航行成本, 但这也对LNG运输船的气体管理系统提出了更高的要求。本文对某型式气体管理系统的控制逻辑

和工作方式进行探讨。

1 气体处理方案

LNG 运输船液货舱会不断产生 BOG, 导致货舱压力升高。对货舱上部 BOG 进行利用, 又会导致货舱内压力降低, 因此须在船舶运输、停靠过程中对货舱的舱压进行控制, 避免因货舱压力太高或者太低对货舱造成破坏, 引发危险。主要的控制方案有以下几种。

1.1 舱压控制

1.1.1 透气桅放气

货舱顶部的 BOG 量过大会导致货舱压力过高,

货舱绝缘层有被破坏的危险。如果货舱绝缘层被破坏, 将导致 LNG 有泄漏的危险。虽然该船的货舱配有冲刀管和 2 层绝缘层以应对这种危险, 但还是会造成不可挽回的损失。如果此时气体处理系统不能在短时间内降低货舱舱压, 就只能通过透气桅紧急放气, 以稳定货舱压力, 此时 BOG 流动路径如图 1 所示。货舱内 BOG 通过气体总管排至透气桅, 通过透气桅前的压力控制阀 A 控制货舱压力, 即当货舱压力高于设定值时打开压力控制阀 A。控制阀 A 的开度由货舱压力和设定值的压差决定, 以此控制 BOG 的排出速度。

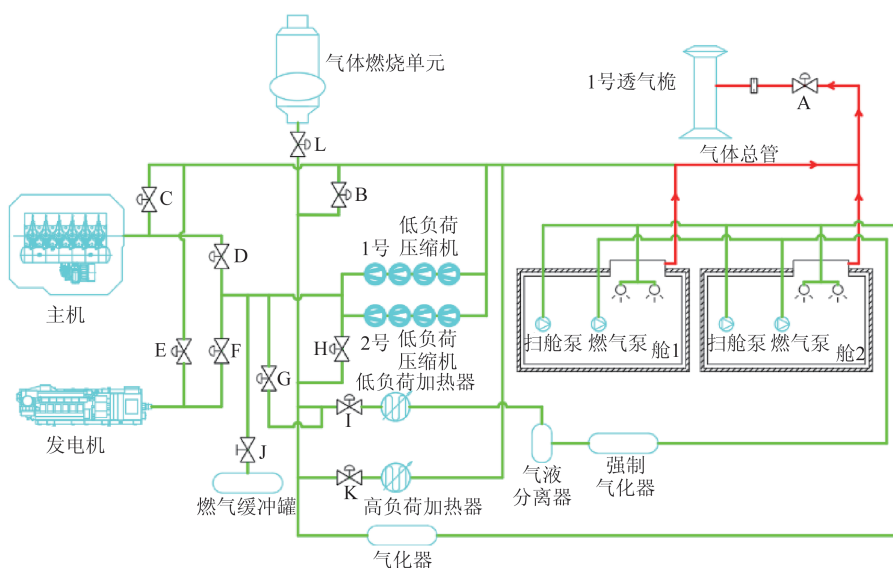


图 1 透气桅放气时的 BOG 路径

1.1.2 气体燃烧装置燃烧 BOG

当 LNG 运输船停靠岸站时, 不能通过透气桅排出 BOG, 货舱内 LNG 持续挥发会导致货舱内的压力不断升高。为避免货舱压力太高, 可通过气体燃烧单元 (gas combustion unit, GCU) 对货舱内的 BOG 进行燃烧处理, 降低货舱压力。因 GCU 燃烧 BOG 对温度和压力有一定的要求, 所以对进入 GCU 的 BOG 须进行预处理。

(1) 低压处理

当货舱内压力不是很高时, 货舱顶部的 BOG 通过气体总管进入压缩机压缩、升温、升压, 再经压力控制阀 H 控制并输送至 GCU 燃烧。其中, 压力控制阀 H 和 B 的主要作用是: 当 GCU 管路内压力降至控制阀 H 的设定值以下时, 压力控制阀 H 打开, 供应气体; 当 GCU 管路内压力升高至压力控制阀 B 的设定值以上时, 压力控制阀 B 打开, 将气体放至气体总管, 降低 GCU 管路中的压力。通

过压力控制阀 B 和 H 的配合控制将 GCU 的供气压力维持在一定范围内。低压处理时 BOG 路径如图 2 所示。

低压处理时 BOG 主要路径为: 气穹→气体总管→低负荷 (low duty, LD) 压缩机→压力控制阀组→GCU。

(2) 高压处理

当货舱内压力较高时, 货舱内部的 BOG 通过气体总管进入高负荷 (high duty, HD) 加热器进行温度调整, 然后经压力控制阀 K 进入 GCU 管路。压力控制阀 K 和 B 的作用是: 当 GCU 管路内的压力低于压力控制阀 K 的设定值时, 压力控制阀 K 打开, 供应气体; 当 GCU 管路内压力高于控制阀 B 的设定值时, 压力控制阀 B 打开, 部分气体进入压力总管, GCU 管路供气压力降低。压力控制阀 B 和 K 的配合控制使 GCU 的供气压力维持在一定范围内。高压处理时 BOG 流动路径如图 3 所示。

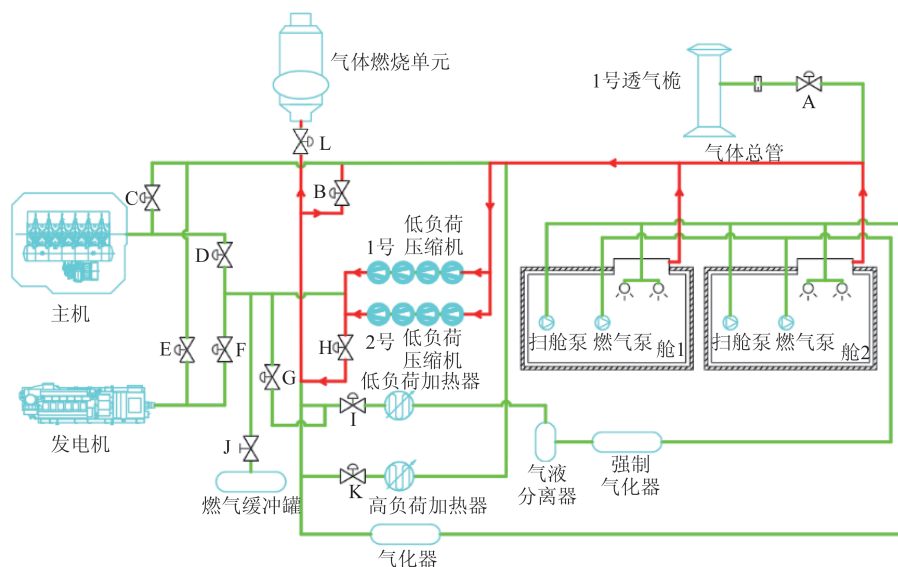


图2 低压处理时BOG路径

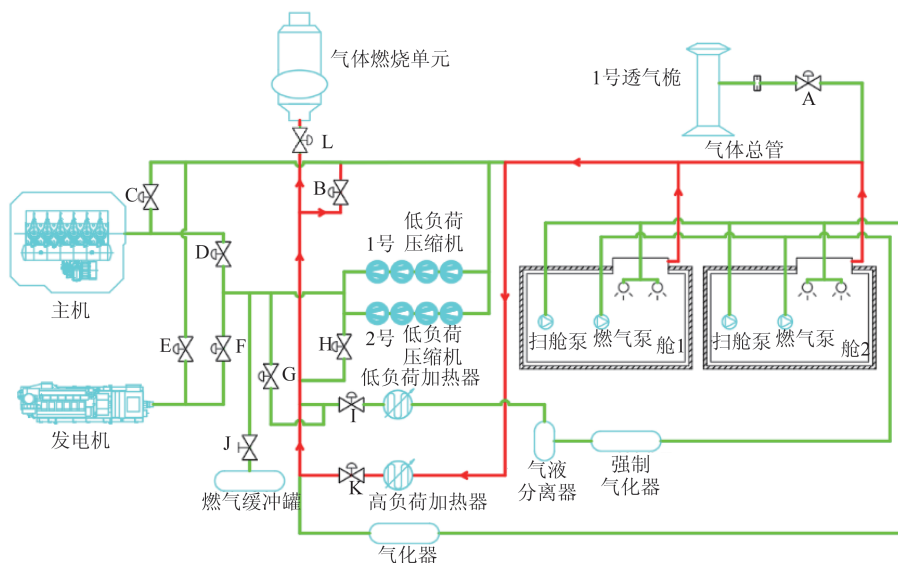


图3 高压处理时BOG路径

高压处理时BOG主要路径为：气穹→气体总管→HD加热器→压力控制阀→GCU。

1.1.3 再液化

再液化即将货舱顶部的BOG进行液化处理以降低货舱压力，减少货舱BOG的量，从而降低在船舶运输过程中天然气的耗费率。

再液化目前主要采用两种方式：一是通过压缩机将货舱顶部的BOG再液化；二是对货舱底部的LNG进行深冷后回舱，通过降低货舱液态天然气的温度抑制BOG的产生^[5]。

方式一的BOG路径为：货舱顶部→再液化装置→回流管回流（LNG），见图4。

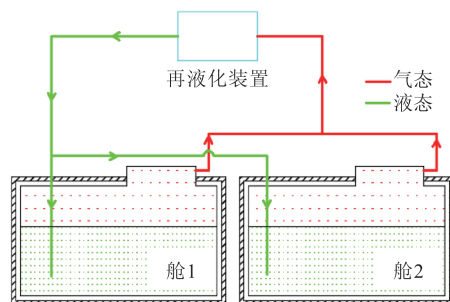


图4 再液化方式的BOG路径

方式二的LNG路径为：货舱底部→深冷装置→货舱顶部喷淋管喷淋→货舱顶部（使BOG再液化）。

货舱底部的低温LNG经泵进入深冷装置，温

度进一步降低, 变成过冷的 LNG; 过冷的 LNG 注入货舱 LNG 的上部或者以喷淋的方式回舱。这种过冷的 LNG 能降低货舱顶部 LNG 的温度, 抑制 BOG 的产生; 同时, 喷淋的过冷 LNG 能降低货舱顶部 BOG 的温度, 使一部分 BOG 液化, 达到再液化的效果。深冷方式的 LNG 路径见图 5。

1.2 主机/发电机组供气

LNG 运输船使用双燃料主机/发电机组时, 双燃料主机/发电机组对气态天然气的温度和压力有一定的要求, 因此须对天然气的压力和温度进行预处理^[1]。此时 LNG 的主要路径为: 燃气泵→强

制气化器→气液分离器→LD 加热器→缓冲罐→压力控制阀组→主机/发电机组, 见图 6 所示。

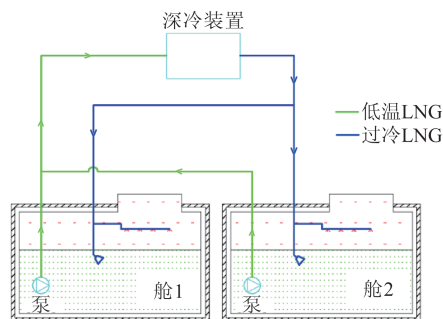


图5 深冷方式的LNG路径

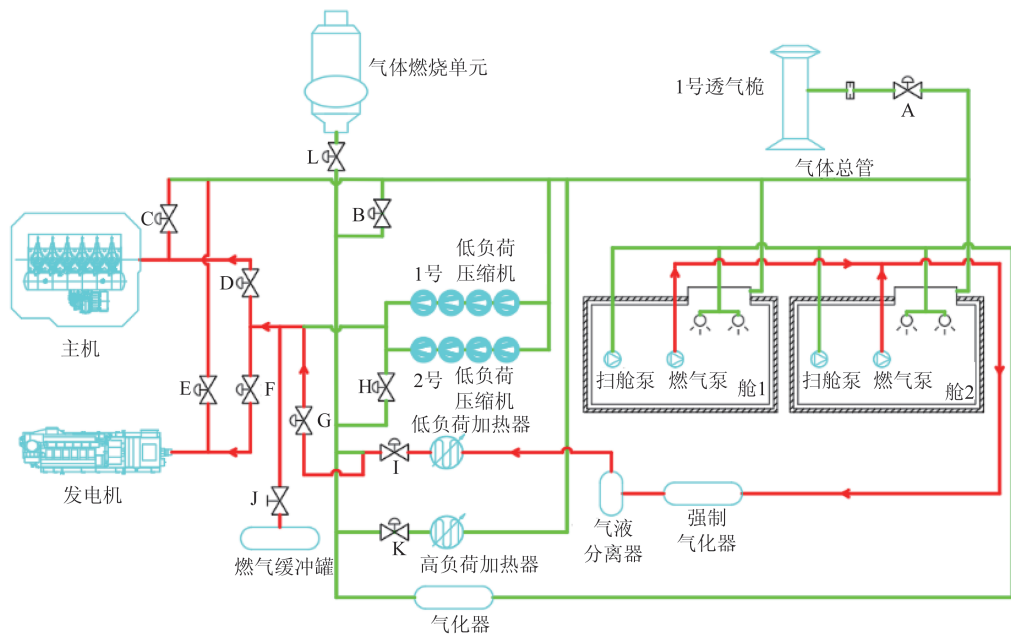


图6 通过燃气泵对主机/发电机组进行燃气供应

在对主机/发电机组供给 LNG 气体燃料的过程中, 如果货舱内 BOG 压力过低, 燃气泵开启, 将舱内的 LNG 输送至强制气化器, 强制气化器将其气化成为天然气气体, 经喷淋短管进入气液分离器, 气液分离器将热值较低的重烃分离出来, 保证供应气体的甲烷含量^[2]。通过压力控制阀对供气压力进行控制, 保证主机/发电机组供气压力相对稳定。主机由燃油模式切换为燃气模式, 燃烧天然气为船舶提供动力; 而发电机组则通过燃烧天然气进行发电^[3]。

对货舱内 BOG 的压力通常会设定一个限值, 若 BOG 压力超过这个限值, 主机和发电机组进入燃气模式, 货舱的 BOG 的经 LD 压缩机增压, 通过压力控制阀组进入主机/发电机组燃烧, 为船舶提供动力或产生电能。该控制方式能在一定程度上

控制货舱的压力^[4]。此时 BOG 的路径为: 气穹→LD 压缩机→缓冲罐→压力控制阀组→主机/发电机组。

对不同的船舶运行工况可协调采用不同的气体处理方案。GCU 燃烧方案一般是在货舱舱压过高, 或者停靠岸站时 BOG 不能通过透气桅排放的情况下采用。主机/发电机组供气模式则是经常使用的一种模式, 如船舶运行在燃气模式下给主机供气, 或在船舶停靠状态下给发电机供气发电等。再液化模式更多是为了减少 LNG 气化, 从而减少不必要的 LNG 浪费。船舶锚泊时, 通过运行再液化模式保持舱压, 减少 BOG 产生。当然, 在船舶实际运行过程中, 气体管理系统的多种气体处理模式经常是同时运行的。

(下转第 23 页)