

LNGC-FSRU货舱压力管理系统应用研究

郭晓东

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要: 文章针对液化天然气运输船货物输送功能要求和浮式储存再气化装置对货物控制及再气化处理的特殊使用需求,结合LNG货物蒸发气特性和常规液货舱允许的货物围护压力范围,围绕储存舱不同压力下的蒸发气处理措施为研究核心,对LNGC-FSRU货舱压力管理系统进行研究,形成一套拥有LNGC和FSRU两种作业模式的综合货舱压力管理系统,满足LNG船舶作为运输船或再气化装置等复杂工况下对货舱压力安全可靠控制的需要。

关键词: 浮式储存和再气化装置;液化天然气运输船;货舱压力管理

中图分类号: U664.8 **文献标识码:** A

引言

液化天然气(LNG)由于需要在-162℃环境进行储存,舱内压力的变化也对其沸点和蒸发速率产生影响。虽然LNG储存舱外侧包有低温绝缘,能在很大程度上防止热量输入,但微量持续的渗入热量仍不可避免,这些热量被低温LNG吸收后慢慢气化,在液货舱上部空间随着LNG不断蒸发导致舱压不断上升,当压力超出货舱安全泄放阀的最大允许设定值时,安全释放阀起跳将舱内压力释放至大气中,中间伴随大量蒸发气排出。LNG蒸发气的主要成分为甲烷,对大气臭氧层的破坏性较强,因此如何安全可靠的对货舱压力进行控制,避免LNG蒸发气释放至大气对环境保护至关重要。

1 LNGC-FSRU 货舱压力管理系统组成

常规LNG蒸发气(BOG)的处理方式包括主锅炉

强制燃烧、气体燃烧单元燃烧、低压压缩机加压送至再气化冷凝罐进行冷凝、高压压缩机直接加压外输到岸或直接排大气等^{[1][3]}。由于LNGC侧重于海上运输工况,而FSRU侧重于码头再气化工况,因此两种模式运行时对货舱压力的管理不同,下面主要分LNGC和FSRU两种工作模式对货舱压力管理系统进行介绍。

1.1 LNGC模式货舱压力管理系统

LNGC在进行LNG加注操作时货舱内置换出的蒸发气一般返回至码头,由于海上环境相对恶劣,LNG翻滚现象在LNG船海上航行时鲜有发生,因此LNGC和FSRU不同工况下的货舱压力管理系统略有不同,以某LNGC-FSRU改装项目为例,如下图1为在LNGC模式下货舱压力管理系统示意图。

货舱压力 (mbarg)	
250	1.1.8.LNGC模式货舱安全阀起跳 (货舱压力@ 250 mbarg)
230	1.1.7.LNGC模式气 (相总管透气阀开启 (气相总管压力@ 230 mbarg) LNGC模式气相总管透气阀关闭 (气相总管压力@ 210 mbarg)
200	1.1.6.LNGC模式高压报警 (气相总管压力@ 200 mbarg) LNGC模式正常操作压力达 (气相总管压力@ 190 mbarg)
180	1.1.5.LNGC模式请求开启蒸汽排放 (气相总管压力@ 180 mbarg) LNGC模式请求关断蒸汽排放/气体燃烧单元 (气相总管压力@ 60 mbarg)
50	1.1.4.LNGC模式蒸汽锅炉启动燃油备用 (气相总管压力@ 50 mbarg)
30	1.1.3.LNGC模式强制蒸发器开启 (气相总管压力@ 30 mbarg)
10	1.1.2.LNGC模式舱压低报警 (货舱低压@ 10 mbarg)
0	1.1.1.LNGC模式舱压低触发设备脱扣 (货舱低低压@0mbarg)

图1 LNGC模式货舱压力管理系统示意图

1.1.1 LNGC模式舱压低触发设备脱扣

当货舱出现压力低至0mbarg时,船上所有使用蒸发气的设备会自动脱扣。

1.1.2 LNGC模式舱压低报警

当货舱压力低至10mbarg时,中控台或货控室会报警,提醒船员或操作方当前蒸发气压力偏低异常,需要

人为介入采取措施将压力提升至正常范围。

1.1.3 LNGC模式强制蒸发器开启

当气相总管压力低至30mbarg时，货控系统会根据设定自动启动强制蒸发器。

1.1.4 LNGC模式蒸汽锅炉启动燃油备用

当气相总管压力低至50mbarg时，中控系统即时触发燃油备用命令至锅炉燃烧管理系统（BMS），使燃油系统启动准备随时切入。

1.1.5 LNGC模式蒸汽排放和气体燃烧单元开闭

当气相总管压力超过180mbarg时，中控系统会触发开启蒸汽排放或气体燃烧单元申请，确认后主锅炉开始对BOG进行强制燃烧或启动气体燃烧单元（GCU）进行燃烧多余BOG。

1.1.6 LNGC模式高压报警

LNGC模式常规货舱的操作压力可达190mbarg，当气相总管压力继续升高达到200mbarg时，中控会显示高压报警，需人为介入，采取措施降压。

1.1.7 LNGC模式气相总管透气阀关闭

当气相总管压力达到230mbarg时，气相总管放空隔离阀将被打开快速释放舱内压力，当压力释放降低至210mbarg时，放空隔离阀关闭。

1.1.8 LNGC模式货舱安全阀起跳

当货舱压力达到货舱安全阀^[2]的起跳压力（250mbarg）时，货舱先导式安全阀会自动打开释放多余BOG。

1.2 FSRU模式货舱压力管理系统

FSRU常年停靠在码头，其主要功能为再气化外输，当外输气量越小时，FSRU的间隔加注时间就会越长，越容易产生残留LNG老化或LNG翻滚现象。LNG翻滚现象常常伴随着大量BOG的产生，可能直接导致安全阀起跳。同时LNG加注置换出的BOG可能存在不回气（至加注船）的特殊工况，所以FSRU模式可能出现的货舱压力较LNGC波动范围更大，FSRU模式货舱压力管理系统需要的控制范围更广，约0-700mbarg。FSRU模式货舱压力管理系统示意图如下图2所示。

货舱压力 (mbarg)	
700	1.2.12.FSRU模式货舱安全阀开启 (货舱压力@ 700 mbarg)
660	1.2.11.FSRU模式气相总管透气 (网开启《气 (相总管压力@ 660 mbarg) FSRU模式气相总管透气 (阀关闭 (气相总管压力@ 640 mbarg)
620	1.2.10.FSRU模式货舱压力高报警 (气相总管压力@ 620 mbarg)
610	1.2.9.FSRU模式闭式或混合式再气化加热工况启动蒸汽排放 (气相总管压力@ 610 mbarg) FSRU模式正常操作压力达600 mbarg
580	1.2.8.FSRU模式气体燃烧单元开启 (气相总管压力@ 580 mbarg)
550	1.2.7.FSRU模式高压压缩机启动 (气 (相总管压力@550 mbarg · 设定可调)
160	1.2.6.FSRU模式再冷凝功能开启 (可在100 mbarg-500 mbarg范围调整) FSRU模式比设定压力低20mbar时再冷凝功能关闭 (默认@160mbarg)
60	1.2.5.FSRU模式请求关断蒸汽排放/气体燃烧单元/再冷凝/高压压缩机 (气相总管压力@ 60 mbarg)
30	1.2.4.FSRU模式强制蒸发器开启 (气 (相总管压力@ 30 mbarg)
20	1.2.3. FSRU模式外输气体回舱供应阀开启 (气相总管压力@ 20 mbarg)
10	1.2.2.FSRU模式舱压低报警 (货舱低压@ 10 mbarg)
0	1.2.1.FSRU模式舱压低触发设备脱扣 (货舱低低压@0mbarg)

图2 FSRU模式货舱压力管理系统示意图

1.2.1 FSRU模式舱压低触发设备脱扣

当货舱出现压力低至0mbarg时，将触发设备脱扣。

1.2.2 FSRU模式舱压低报警

当货舱出现压力低至10mbarg时，将舱压低报警。

1.2.3 FSRU模式外输气体回舱供应阀开启

当气相总管压力低至20mbarg时，可将常温高压外输气体转换为低压低温气体返回气相总管，用来补充BOG

防止舱内压力过低。

1.2.4 FSRU模式强制蒸发器开启

当气相总管压力低至30mbarg时，会启动强制蒸发器进行BOG补充。

1.2.5 FSRU模式请求关断蒸汽排放/气体燃烧单元/再冷凝/高压压缩机

当气相总管压力低至60mbarg时，为防止舱内压力继

续下降, 中控系统设计有请求关断BOG的消耗设备。

1.2.6 FSRU模式再冷凝功能开闭

BOG再冷凝功能仅在再气化大于9mm³/scfd流量时才能正常进行, 再冷凝功能可在气相总管压力100mbarg-500mbarg范围内调整开启或关闭的限值。

1.2.7 FSRU模式高压压缩机启动

当气相总管压力继续上升至550mbarg, 此时可启动高压压缩机将BOG直接压缩至高压输出到岸。

1.2.8 FSRU模式气体燃烧单元开启

当气相总管压力继续上升至580mbarg, 此时会触发启动气体燃烧单元请求, 经人员确认后开启。

1.2.9 FSRU模式在闭式或混合式再气化加热工况下启动蒸汽排放

常规FSRU模式的正常操作压力达600mbarg, 若气相总管压力继续升高至610mbarg, 在闭式或混合式再气化加热工况下可以启动蒸汽泄放功能利用主锅炉强制燃烧多余BOG。

1.2.10 FSRU模式货舱压力高报警

当气相总管压力继续升高至620mbarg, 中控和货控室会有高压报警, 提醒船员务必核对实际工况并采取处理措施, 否则舱压继续升高将随时可能导致BOG释放到大气中。

1.2.11 FSRU模式气相总管透气阀开闭

当气相总管压力继续升高至660mbarg, 气相总管透气阀遥控打开, 用于紧急压力释放, 避免高压对货舱结构产生损害或其他安全事故, 当气相总管压力低于

640mbarg时阀门自动关闭。

1.2.12 FSRU模式货舱安全阀开启

FSRU模式货舱压力设定为700mbarg, 因此当压力达到此限值时安全阀会直接起跳, 快速释放舱内压力, 释放的BOG直接排放至大气中。安全阀泄放量较大, 对船上人员和设备的安全影响较大, 因此在压力达到此限值前应尽量利用第1.2.1-1.2.10章节中提到的措施进行舱压控制。

结语

此LNGC-FSRU货舱压力管理系统已在实际项目调试中进行了实船验证, 根据海试和气试结果显示此系统对货舱的压力管理效果良好, 不仅满足了船舶在LNGC和FSRU两种操作模式的功能需求, 同时根据各自工况特点对压力范围分区控制, 实现了对蒸发气的安全高效处理, 最大限度的减少了蒸发气直接排大气, 避免了能源浪费和环境污染, 也为当今环保大前提下节约能源利用、避免温室气体释放和碳中和/碳达峰战略相关技术起到借鉴作用。

参考文献

- [1]刘禹霆.LNG运输船气体管理系统设计.柴油机. 第四卷(2022)第一期.
- [2]中国船级社.散装运输液化气体船舶构造与设备规范.北京.2018.01.
- [3]Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Construction and Classification of Ships for the Carriage of Liquefied Gases in Bulk 2020