

# LNG 接收站再冷凝器工艺及控制

欧阳虎 宋志焱 黄科运 (国家管网集团天津液化天然气有限责任公司, 天津 300451)

**摘要:** LNG 接收站正常运行过程中, 部分 LNG 不断的吸收外界传入的热量后流回储罐, 在储罐内会闪蒸出一定量的 BOG 气体来保持自身的低温状态, 如何安全合理且有效地处理接收站产生的 BOG, 是所有 LNG 接收站安全稳定运行的前提, BOG 处理工艺一般可分为增压外输工艺和再冷凝工艺; 目前接收站普遍使用再冷凝工艺处理 BOG, 其中再冷凝器是 BOG 再冷凝工艺的核心设备。本文主要根据目前在运行的接收站对再冷凝器运行经验的总结, 包含工艺流程及控制逻辑, 主要从再冷凝器的操作压力控制、液位控制等方面进行描述, 为其他 LNG 接收站的运行提供不同的思路。

**关键词:** BOG 再冷凝; 液气比 R; 压力控制; 液位控制

**中图分类号:** TE89 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 004-0091-03

## LNG Receiving Terminal Recondenser Process and Control

Ouyang Hu, Song Zhiyan, Huang Keyun (Tianjin LNG Co., Ltd., PipeChina, Tianjin 300451, China)

**Abstract:** During the normal operation of an LNG receiving terminal, a portion of the LNG continuously absorbs heat from the outside and flows back to the storage tank. In the tank, a certain amount of BOG gas will flash off to maintain its low-temperature state. How to safely, reasonably and effectively handle the BOG generated by the receiving terminal is the prerequisite for the safe and stable operation of all LNG receiving terminals. The BOG treatment process can generally be divided into the pressurized export process and the recondensation process. Currently, the recondensation process is widely used in receiving terminals to handle BOG, among which the recondenser is the core equipment of the BOG recondensation process. This article mainly summarizes the operation experience of the recondenser in the currently operating receiving terminals, including the process flow and control logic, mainly describing the operation pressure control and liquid level control of the recondenser, providing different ideas for the operation of other LNG receiving terminals.

**Keywords:** BOG Recondensation; Liquid-to-Gas Ratio (R); Pressure Control; Level Control

LNG 接收站正常生产运行期间不断的在产生蒸发气 (BOG), 这种自然规律形成的现象无法避免, 只能通过技术手段降低蒸发气的产生量; 蒸发气主要是由于在运行过程中, 外界的能量通过管道、罐壁和动设备传到至 LNG, 常压饱和 LNG 吸收能量后为保持低温冷态, 需要气化闪蒸出来一部分气体维持低温状态; 这种为维持低温状态而不断产生的蒸发气必须及时从储罐内抽出进行处理, 否则会使 LNG 储罐的压力不断升高, 造成报警联锁, 影响储罐安全平稳运行; 储罐压力过高后为保证储罐运行安全, 多余的蒸发气会排放至火炬进行燃烧, 这样不仅会对环境造成影响, 还造成了能源浪费, 增加了 LNG 接收站的运行成本。因此, 在 LNG 接收站正常生产那运行期间, 如何安全有效的对产生的蒸发气进行处理是首要解决的问题, 要做到安全稳定的同时也要兼顾绿色低碳、节能环保。本文主要根据目前在运行的接收站对再冷凝器平稳运行经验进行总结描述, 包含类型、工艺流程及不同参数的控制逻辑, 主要从再冷凝器的操作压力控制、液位控制等方面进行描述, 为其他 LNG 接收站的运行提供不同的思路, 同时也为后续接收站向智能化、绿色低碳等方向转型提供可参考的依据。

### 1 BOG 处理工艺

LNG 接收站生产运行期间的 BOG 处理工艺包括两种, 分别是增压外输工艺和再冷凝工艺。增压外输工艺可以在零外输的工况下进行 BOG 处理, 解决了零外输工况下 BOG 处理的难题; 在接收站无气化外输的情况下, 所有低温管道都需要一定量的 LNG 流动带走吸入的热量, 从而保持管线的低温状态, 确保安全稳定且随时可用, 不需要预冷; 再冷凝工艺需要在有一定量的气化外输的条件下进行 BOG 处理, 利用再冷凝器将过冷的低压 LNG 和加压后的 BOG 进行混合换热, 将低压的 BOG 进行冷凝, 从而达到 BOG 处理的目的, 极大的降低了生产运行期间的能耗与成本。

#### 1.1 BOG 加压外输工艺

不同接收站的工艺流程虽不完全相通, 但是基本工艺原理一直, 以下以某 LNG 接收站的工艺流程及设备参数为例进行介绍。

某 LNG 接收站一期为中压外输, 设计压力 7.5MPa, 日常运行压力为 5.5MPa 左右, 配置 3 台压缩机和 3 台低压压缩机; 3 台压缩机为四级压缩, 单台设备能力为 5t/h, 可以将 BOG 直接从储罐压力增压至中压外输管网压力后通过外输首站进行外输; 3 台低压压缩

机为两级压缩，单台设备能力为 6t/h，可以将 BOG 直接从储罐压力增压至 0.7MPa 左右后进入再冷凝器进行冷凝后进行外输；二期配置 3 台 BOG 低压压缩机和三台增压压缩机；低压压缩机为两级压缩，单台设备能力为 12t/h，可以将 BOG 加压至 0.7MPa 左右后进入再冷凝器进行冷凝后外输；增压压缩机单台能力也为 12t/h，与低压压缩机配套使用，可从 0.7MPa 压力增至 10MPa 后进行外输。

## 1.2 再冷凝处理工艺

再冷凝器的处理工艺主要是指通过再冷凝器将低压压缩机输送的 BOG 进行再次液化，这一工艺是整个接收站的核心部分，再冷凝器的运行稳定与否直接关系到能否向用户提供安全稳定的能源供给。

某 LNG 接收站配置 2 台 BOG 再冷凝器，分别为 25t/h 和 36t/h，为中压段和高压段单独使用，不能交叉使用及共用。25t/h 的再冷凝器配套 3 台低压压缩机，每台设备能力为 6t/h；36t/h 的再冷凝器也配套 3 台低压压缩机，每台设备能力为 12t/h；低压压缩机加压后的 BOG 气体在再冷凝器内部与过冷的 LNG 进行换热，二者在再冷凝器上部装填的不锈钢规整填料层中以错流方式进行完全混合，过冷的 LNG 在 0.7MPa 左右的压力下将 BOG 再次液化为 LNG，然后从再冷凝器流出后进入高压泵进行加压，最终通过气化器后今日外输管道。

## 2 再冷凝器工艺系统

### 2.1 再冷凝器基本结构

在常规的 LNG 接收站中，再冷凝器是处理 BOG 的核心设备，同时也是降低能耗的关键设备；根据再冷凝器的结构和特点，可以将再冷凝器分为单壳单罐型和双壳双罐型。

双壳双罐型再冷凝器顾名思义，该再冷凝器有两个罐，采用双罐设计，内罐和外罐，两罐通过顶部隔离、底部相通来实现整个再冷凝和压力控制；内罐的主要功能为冷凝，是 BOG 冷凝的主要区域，外罐则承担了压力控制和缓冲的主要任务，来确保再冷凝器压力的稳定，二者相互配合完成 BOG 冷凝和为高压泵提供稳定 LNG 的功能。

单壳单罐型再冷凝器，只有一个罐体，内部构件主要包括 LNG 进液管、气液分布盘、填料层、填料支撑板和底部出口处的破涡器，这些构建共同组成了完整的再冷凝器；再冷凝器可分为填充层（鲍尔环填料）和缓冲层（缓冲罐性质），其中只有少部分 LNG 被用于 BOG 的再冷凝，大部分 LNG 则流向了再冷凝器的底部或旁路。其中再冷凝器的底部设有破涡器，目的是去除漩涡，保证泵不汽蚀。

单壳单罐型 BOG 再冷凝器的造价低廉、运行控制相对简单，主要通过控制进入再冷凝器的 LNG 流量和 BOG 流量来维持液位和压力的稳定。再冷凝器的操作压力由高压补气和高压放空的设定压力决定，部分没有再冷凝器底部进液的再冷凝器也可以通过旁路的压力控制阀控制再冷凝器的出口压力，将再冷凝器的压力稳定在一个合理的位置，保证高压泵入口和出口的各项参数正常。

双壳双罐型再冷凝器的设计较为复杂，建造时需要建造内外两层罐体以及罐体内的复杂机构部件，整体的建造费用较高，工期较长。而单壳单罐型再冷凝器设计相对简单，安装方便，建造费用也更加低廉，工期相对较短。国内接收站基本采用单壳单罐式再冷凝器，是再冷凝器的主流型式，所以本文后续主要针对单壳单罐型再冷凝器进行描述。

### 2.2 再冷凝器工艺描述

低压泵将 LNG 从储罐内抽出后加压送入低压总管，低压总管内过冷 LNG 从再冷凝器的顶部、填料层的上部进入，低压压缩机加压后的低压 BOG 从再冷凝器的顶部、填料层的下部进入再冷凝器，BOG 气体和过冷的 LNG 同时进入填料层，对向流动，逐渐将 BOG 冷凝，气相 BOG 完全冷凝后随液相 LNG 一同流入再冷凝器内部。

LNG 接收站的再冷凝器如设有底部进液，未从再冷凝器顶部进入再冷凝器的 LNG 将从底部进液管线进入再冷凝器，与再冷凝的 LNG 混合后进入高压泵；同时再冷凝器还设计有旁路，当顶部进液和底部进液不能满足下游用量时，低压总管内 LNG 将通过再冷凝器旁路调节阀后与再冷凝器出口的 LNG 进行混合，确保温度在  $-135^{\circ}\text{C}$  以上；再冷凝器上部设有超压放空挂弄下先和低压补气管线，同时还设置有压力及液位控制系统，保证再冷凝器的运行安全。

### 2.3 再冷凝器控制逻辑

LNG 接收站内再冷凝器的稳定运行主要是控制再冷凝器压力和液位稳定，压力和液位稳定就意味着再冷凝器既可以处理 BOG 也可以源源不断的为高压泵提供稳定的 LNG，确保接收站稳定运行。

#### 2.3.1 再冷凝器压力控制

##### 2.3.1.1 正常压力控制

正常操作下，操作人员可以通过手动调节顶部进液阀门 FV-03001 的开度控制进入再冷凝器的 LNG 流量来维持压力的相对稳定。PIC 控制模式下，操作人员可以通过顶部进液控制阀 PV-03001 进行开度调节，控制从再冷凝器顶部进入的 LNG 量，从而实现控制冷凝 BOG 和压力稳定的目的。

### 2.3.1.2 压力高控制

当再冷凝器压力逐渐升高,超过控制压力设定值时,可以手动打开 PV-03005,将过量的 BOG 排放至放空总管来降低再冷凝器的压力;PIC 控制模式下,操作人员可以通过顶部放空控制器 PIC-03005 模块,输入对应的压力值,控制器将根据设定参数来打开再冷凝器顶部放空阀门 PV-03005 来控制再冷凝器的压力;放空阀门打开后,如果压力不能得到有效控制,仍呈上升趋势,达到再冷凝器的压力高高参数时,安全仪表系统将会被激活,释放出紧急停止的相关命令,保证再冷凝器系统的压力不超过设计值,确保人员和设备的安全。

### 2.3.1.3 压力低控制

当正常运行过程中再冷凝器压力持续降低是,如果压力低于正常控制压力值时,通过控制 PV-03001 开度,从而减少通过再冷凝器上进液进入的 LNG 量,达到稳定再冷凝器压力的目的;如果减小 PV-03001 开度仍不能控制再冷凝器压力下降,直至压力到达高压补气阀门 PV-03006 设定点时, PV-03006 将根据再冷凝器压力进行调节阀开度,让再冷凝器维持压力稳定而不至于持续下降,确保运行稳定。

### 2.3.2 再冷凝器的液位控制

#### 2.3.2.1 运行液位控制

在正常的运行工况下,再冷凝器正常液位通过 LIC-03003 控制器设定正常控制液位值,控制器根据设定值调节 LV-03003A 阀门开度调整进入再冷凝器的 LNG 流量,从而维持再冷凝器的液位稳定;当 LV-03003A 控制流量达到上限后,再冷凝器旁路调节阀 LV-03003B/C 将依次参与液位控制,调整 LNG 流量,确保再冷凝器液位平稳。

再冷凝器检修时,将再冷凝器进行切除,为保证高压泵入口压力正常,将控制模式手动更改为再冷凝器出口压力控制,设定完成后 LIC-03003 控制器将控制 LV-03003B/C 依次打开调节再冷凝器出口压力在正常范围内,确保高压泵运行正常。

#### 2.3.2.2 液位联锁控制

当再冷凝器液位持续升高,超过了液位控制的设定点时, LV-03003A/B/C 将根据分层控制逻辑持续关小,如仍不能控制液位上升,当液位升高至高高联锁设定点时,安全仪表系统将会自动触发联锁,根据逻辑关闭对应的阀门并停止对应的设备,确保设备回归安全状态。

当再冷凝器液位持续下降,降至液位控制的设定点以下时, LV-03003A/B/C 将根据分层控制逻辑持续开大,如仍不能控制液位下降,当液位降低至低低联

锁设定点时,安全仪表系统将会自动触发联锁,根据逻辑关闭对应的阀门并停止对应的设备,确保设备回归安全状态。

以上控制原则控制参数单一,控制逻辑相对简单,较复杂的串级控制逻辑更为稳定,对 LNG 接收站生产运行的自动化提升、效率提升、工艺安全性提升等方面都有着积极影响。上述控制逻辑在多个 LNG 接收站有稳定运行的经验,采用此种运行模式,整个再冷凝器全部采用自动控制模式,不需过多干预,大大减少操作人员的工作量,提升了安全操作的水平。

随着传统接收站不断向智能化及智慧化接收站转型的浪潮推动下, LNG 接收站核心设备再冷凝器的运行控制及整个接收站的运行控制将迎来前所未有的发展机遇,及其核心设备再冷凝器正迎来前所未有的发展机遇,未来引入 AI 智能,根据 LNG 接收站内各种参数的变化及外输需求,精准预测 BOG 产生量以及精准调整 LNG 流量,让 LNG 接收站的核心设备更加智能、更加稳定,大大减少人工干预的影响,实现只能优化、自动调节,使各关键设备始终在最佳状态下进行工作,让接收站的整体运行更加稳定,安全风险持续降低,可靠性不断提高,同时 LNG 接收站将持续推动技术不断进步,不断挖掘 LNG 冷能利用的潜力,实现智能化与多样化、合理化以及节能化同步发展,向着智能化、高效节能、绿色低碳的方向大步迈进。

#### 参考文献:

- [1] 李宁.液化天然气接收站 BOG 的处理方法及分析[J].天然气化工,2020,45(1):57-60.
- [2] 张奕,孔凡华,艾绍平.LNG 接收站再冷凝工艺及运行控制[J].油气田地面工程,2013,32(11):133-135.
- [3] 杨信一.LNG 接收站再冷凝器自动控制设计[J].油气田地面工程,2017,36(1):22-27.
- [4] 张树亮,李亚军,徐梦瑶.LNG 接收站蒸发气再冷凝工艺优化与动态模拟研究[J].化工进展,2021,40(3):1258-1265.
- [5] 王海燕,陈帅,刘东方.LNG 接收站 BOG 处理工艺比较与再冷凝器控制策略[J].油气储运,2019,38(6):601-607.
- [6] 郭开华.LNG 接收站 BOG 回收工艺技术进展与能效分析[J].天然气工业,2020,40(7):130-138.
- [7] 孙恒,朱军,陆永康.大型 LNG 接收站再冷凝器选型设计与运行难点分析[J].天然气工业,2022,42(8):142-149.

#### 作者简介:

欧阳虎(1986-),男,汉族,天津人,大学本科,中级工程师,从事 LNG 接收站运行管理工作。