

# Study on optimization of BOG recovery process in LNG terminal

Xingda Qian

PipeChina Group Dalian Liquefied Natural Gas Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116001, China

## Abstract

This study focuses on optimizing the BOG (Boil-Off Gas) recovery process at LNG receiving stations, aiming to enhance energy efficiency and reduce environmental impact. The BOG recovery process is crucial for ensuring the safety of LNG transportation and storage, and it addresses core issues of environmental protection and energy conservation. Current recovery processes face numerous challenges in terms of efficiency, cost, and system integration. Through a thorough analysis of the process flow and technical pathways, this study proposes an optimization plan aimed at improving recovery rates, reducing costs, and enhancing equipment synergy. To address potential risks during implementation, specific measures are also outlined, providing practical and effective technical support for the sustainable development of LNG receiving stations. The aim is to offer a sustainable and low-carbon BOG recovery solution for the industry, promoting the advancement of LNG receiving station technology towards greater efficiency and environmental friendliness.

## Keywords

BOG recovery; LNG terminal; process optimization; cost control

# LNG 接收站 BOG 回收工艺优化方案研究

钱兴达

国家管网集团大连液化天然气有限公司，中国 · 辽宁 大连 116001

## 摘要

LNG接收站BOG (Boil-Off Gas)回收工艺的优化研究，关注的是提高能源利用效率和减少环境影响。BOG回收工艺不仅是保障LNG运输和储存过程安全的重要环节，也涉及到环境保护与能源节约的核心问题。现有回收工艺在效率、成本与系统集成方面存在诸多挑战。通过对工艺流程和技术路径的深度分析，提出了优化方案，旨在提升回收率、降低成本，并改善设备的协同效应。针对实施过程中可能出现的风险，本文也提出了具体的应对措施，为LNG接收站的持续发展提供了现实而有效技术支撑。本文希望为行业提供一种可持续、低碳的BOG回收解决方案，推动LNG接收站技术朝着更高效、更环保的方向发展。

## 关键词

BOG回收；LNG接收站；工艺优化；成本控制

## 1 引言

随着全球能源需求的持续增长，液化天然气（LNG）作为清洁能源的应用前景越来越广阔。在LNG运输和储存过程中，BOG回收工艺作为重要环节，其作用不仅仅是减少了气体的浪费，更是在能源转化与利用的过程中，减少了对环境的负担。然而，现有的BOG回收技术仍面临着许多挑战，特别是在提升回收效率、降低回收成本以及优化系统集成等方面。通过对这些问题的深入剖析，提出的优化方案不仅关注技术本身，更考虑到成本效益和风险管控，以期为LNG接收站的运营提供可行的改进路径。

**【作者简介】**钱兴达（1993-），男，中国辽宁大连人，本科，从事液化天然气行业研究。

## 2 LNG 接收站 BOG 回收工艺的概述

### 2.1 LNG 接收站的基本构成与作用

LNG接收站作为LNG进口的一个节点，主要是把LNG从液态转换成气态。接收站主要分为接收、储存和再气化等部分，各个环节息息相关。LNG接收站是接收液态LNG的进口站，也是实现不间断燃气供应的关键装置，使得LNG液态化运营，为人类提供一个安全可靠的气源，是整个能源产业链中相当重要的环节之一。优化BOG回收工艺，成为提高LNG接收站运营水平的重要手段。

### 2.2 BOG 回收的重要性

BOG(Boil-Off Gas)回收技术是LNG接收站的重要部分，实际上就是将LNG储罐温度提升过程中产生的气体加以回收利用，起到了降低天然气浪费程度、缓解LNG接收站对

环境影响的作用，在全球正在致力将能源结构进行转型的今天，BOG 回收技术成为增强能源利用率、减少碳排放量的必要手段，针对 BOG 的最优方案进行回收利用，从而使能源能够进行循环再利用，进而促进环保及可持续发展。

### 3 BOG 回收工艺中的挑战

#### 3.1 回收效率低下的原因

影响 BOG 回收效率主要是因为某一方面或者几个方面受到技术、系统制约所致。储罐工作状态下 BOG 产量及温度的变化多变，而 BOG 回收系统的稳定性不够；BOG 回收过程中的低冷凝效率致使气体难以被即时回收，存在一系列不稳定的装置设备和非系统性的自动控制等问题。因此影响 BOG 回收效率的因素比较复杂，其根本解决途径是多方面技术创新。

#### 3.2 高成本问题的影响

由于 BOG 回收工艺总体成本较高一直阻碍 BOG 回收工艺的实施。目前，在 BOG 的回收过程中设备投资、运行维护以及能源消耗方面的成本都较高。其中，BOG 回收设备的购置、安装价格较高，特别是某些高效率的冷凝器和压缩机。回收的过程中还需要进行相关冷却系统的配置与压缩系统的运行，也增加了相关的能源消耗成本，特别是在高负荷的系统运行中，能源的成本也越来越高<sup>[1]</sup>。在系统的长期维护与更新的成本也较大。而这些因素都会增大 LNG 接收站开展 BOG 回收方案实施的巨大经济压力，促使行业更需要寻求成本更低的方式。

#### 3.3 系统集成设备优化问题

BOG 回收工艺是多个设备配套工艺，包括储罐、冷凝器、压缩机组等，各类设备协同与匹配性较低，导致系统整体性能不高，如冷凝器性能无法适应储罐释放气体速率，导致气体无法及时高效回收。各类设备性能与自控不足也造成系统复杂程度高，维护难度大。工艺装备优化与系统整合差导致 BOG 回收工艺不完善，不经济。所以 BOG 回收设备间协同匹配优化与系统整体协同优化是提升 BOG 回收效率的重点。

## 4 LNG 接收站 BOG 回收工艺优化方案的研究

#### 4.1 提升回收率的技术路径

提高 BOG 回收率主要是精细化的技术路径的精细设计，需要从技术与设备两个方面相结合优化融合。一个有效的回收路径，必须要能够动态适应 LNG 接收站里不同的工况环境，提高回收率的技术路径，需要考虑提升回收冷凝技术。当储罐里面的 LNG 释放挥发时，BOG 气体的压力、温度等都在不断变化，在提高 BOG 气体冷凝效率方面为首要解决的问题。运用先进的冷凝器设计，包括更大的换热面积、更为合理的方式流动换热流体和提高冷凝器热交换能力是提高回收气量的方式之一。同时，对回收气体的预冷技术也是提高 BOG 回收量的重要手段，通过在后期回收前通过降低气体的温度可以减少回收后回收气体所需的冷量，达到降

低系统消耗的效果。由于 BOG 的不固定，对回收系统进行智能调节和反馈是回收 BOG 提升效率的一大方法<sup>[2]</sup>。通过对系统各个环节的数据收集和实时监控来精准调整回收系统的各方面的工作参数，以保证回收系统在不同工况下都达到自身最优的回收状态。当存在气体的分布不均匀时，则需要考虑如何合理地规划气体的运动路径，在进行合理储罐与回收装置的结合，以减少气体泄露与气耗损失。

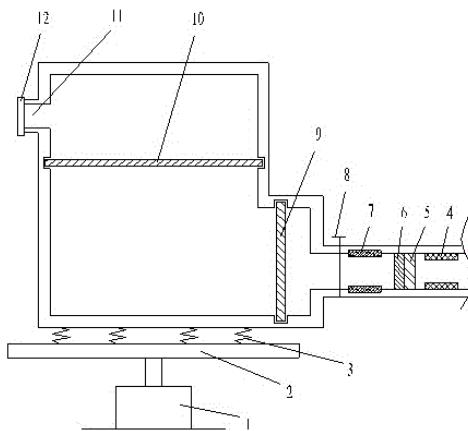


图 1：一种 BOG 回收装置的制作方法

#### 4.2 系统集成优化方案的可行性

接收站 BOG 回收工艺是由 LNG 储罐、冷凝器、压缩机、加热装置等多个设备及子系统联合而成的系统，其系统集成的优化是提高系统回收效率的重要保障。通过系统集成的优化，需要将各个设备及子系统根据系统本身的流程进行组合，在 LNG 接收站 BOG 回收工艺中的流程可以通过系统整体考虑不同设备及子系统间的配合，进而有利于提高 BOG 回收的效率。如在 LNG 储罐、冷凝器、压缩机、加热装置等不同设备及其子系统间建立协同合作的关系，从而将两个设备或子系统之间存在的“瓶颈”有效消除，使系统运行的有效性得到保证。因此在优化方面需要依据设备及子系统间的协同作用进行优化，将各个部分之间的互联互通进行设计，在运行时不会因为部分设备或子系统不同而造成生产效率降低。通过为气体温度、压力、流量等参数的数据进行计算、测量及收集，实现与智能控制系统的交互，保障接收站 BOG 回收系统所需的气体获得可协调的方式进行回收，在设备调节时不能因为调控不到位而造成资源浪费或 BOG 气体回收不足等方面的情况出现。对于设备的选择，提高接收站 BOG 回收系统设备性能及可靠的设备配置是促进系统集成优化效率实现的前提要求。同时将接收站 BOG 回收系统设备进行模块化及标准化可以提升设备在系统运行的过程中灵活性强，进而提升接收站 BOG 回收系统在设备配置方面的可调性。接收站 BOG 回收工艺系统集成优化方案的可行分析，还需要考虑系统之间的调节以及不同工况下的可调性。不同的季节及工况状态下的接收站 BOG 回收工艺对接收站 BOG 工艺系统配置的要求会相应出现一定的波动现

象,因此在运行时接收站 BOG 回收工艺系统集成优化方案需要提升系统的兼容性,在兼容、可调的情况下完成 BOG 气体的回收,并满足接收站 BOG 工艺系统现阶段及未来阶段的调节,从而保障 BOG 系统稳定有效的运行。系统集成优化是将环节、调节、协调综合考虑,实现设备与工艺环节的无缝衔接,从而达到理想的回收效果<sup>[3]</sup>。有效的系统集成,从回收工艺来说,将成本降到最低,从总效率角度来说,提高 BOG 总体回收效率,是最优解,也是突破目前回收工艺瓶颈的主流途径。

#### 4.3 成本控制效率提升的双重策略

对于 BOG 回收工艺优化设计而言,成本控制与效率提升是相互关联而不互相冲突的工作。为了这两项工作的平衡,除了单纯的技术上的优化外,系统性全局性的分析与改进是必须的。一方面,从设备的采购与运行成本角度来看,选择高性价比的设备材料可以起到降低成本的作用,高端设备在高效率的同时运行与维护的成本也相对较高,反而容易冲抵前期的投入,因而,结合 LNG 接收站的实际运营,选择适应的设备材料,通过提升设备的效率,增加设备的使用寿命可以大大降低设备的总体使用费用。另一方面,结合智能化控制系统以及优化算法可以实时监控设备的运行,从而避免设备的停机或设备的维修所造成的相关成本提升。效率提升的手段主要侧重于减小能耗与提升回收率,例如通过回收工艺的优化改善冷凝、压缩过程中的热交换的效率,通过技术措施降低设备用能,从而达到低成本、高效率回收的目的<sup>[4]</sup>,通过提升热交换设备中使用材料的高效性、提高气体在流动路线上高效性实现较高的回收率,还可以有效减少能源的依赖。另一方面通过应用可再生能源或者价格较低廉的能源方式给设备进行辅助供能也可以起到一定的成本节约作用。高效率与低成本并用法则,其实是高效率与低成本是两种技术及资源的合理与高级的运用,目的是在于如何在系统内优化提高系统的每个环节,使每个环节都能为整体的低成本回收以及运营得以持续化、经济化。

#### 4.4 实施方案的风险应对措施

在 BOG 回收工艺优化实施方案的过程中,可能会遇到一定风险和挑战,例如来自技术上的不确定性、设备运行故障问题、成本控制失败等多方面的问题风险。相应的,要建立健全的风险预警机制以及管理机制,实现早发现、早解决。技术上的风险可以利用分步走的手段来进行规避,将回收工艺的优化方案分阶段、分步骤进行小范围的测试以及使用,

可以通过小范围的试错来降低方案的风险,及时进行回收工艺方案的优化,避免回收工艺方案实施失败的问题出现<sup>[5]</sup>。针对设备运行故障的风险问题,要建立完善的维修以及备用机制,定期对关键设备实施检查以及维护,提高设备在长时间运行下的运行稳定性和可靠性。针对投资规模大以及成本控制失败风险的问题,一方面要通过开展可行性分析、财务审计等方式,实施合理的项目投入控制,通过财务审计进一步审慎合理化回收系统的投资和回收系统的收益控制;另一方面,需通过成本控制方式,尽量避免投资失败。同时在对投资系统的建设和投资范围开展深入细致分析中,针对当前 BOG 回收系统的相关问题进行全面的评估<sup>[6]</sup>。日常的设施运行维护等都要进行标准化管理,要及时纠正不合理成本费用支出、保障成本的合理投入等;可以针对在项目实施过程中涉及的市场未来性需求,开展灵活多变的环境评价机制、项目风险的分散策略,从中找到可行的实施方案。对于不可预估的问题风险,需要利用其发生发展的过程,在项目运行的过程中要展开灵活应变,随时对工艺、装置、运行模式等等进行调整等。

### 5 结语

BOG 回收工艺优化不仅是一项技术进步的需要,同时也是对环境和资源的一种责任,在分析目前面临的困惑与难题的基础上,提出了切实可行的技术措施与实施手段,既能提高 LNG 接收站 BOG 的回收率,降低 LNG 接收站的生产运行费用,同时还能发挥系统集成整体协同效应,实现可持续发展。

### 参考文献

- [1] 彭超,王鸿达,侯旭光,等.LNG接收站BOG联合处理运行方案优化[J].油气储运,2023,42(6):624-631.
- [2] 吴昊,王城景,王傲,等.新投产LNG接收站BOG处理方法优化探究[J].山西化工,2024,44(5):111-113.
- [3] 肖述民.基于AspenHYSYS的LNG接收站全流程模拟仿真及运行优化[D].中国石油大学(北京),2023.
- [4] 田小富.LNG接收站投产过程分析[J].中国化工贸易,2023:181-183.
- [5] 蒙学昊,周毅,李萌,等.基于AspenPlus对BOG再液化过程的稳态模拟和优化[J].天津科技,2023,50(1):79-84.
- [6] 孙宇轩,赵瑞嘉,赵振宇.考虑BOG管理的LNG海上运输航线配船优化[J].大连海事大学学报,2024,50(4):41-48.