

# LNG接收站蒸发气处理工艺研究

杨 凯

国家管网集团天津液化天然气有限责任公司 天津 300452

**摘 要：**本文深入探讨LNG接收站蒸发气处理工艺。分析蒸发气的产生原因及特性，详细阐述现有常见处理工艺，如再冷凝、直接压缩等。通过实际案例研究，评估不同工艺的效果，包括能源利用效率、环境影响及经济性能等。同时，对新型处理技术的研发和应用进行探讨，为提高处理工艺的效率和可持续性提供理论支持和实践指导。

**关键词：**LNG接收站；蒸发气处理；实践

## 1 LNG接收站蒸发气特性分析

### 1.1 蒸发气成分分析

LNG（液化天然气）主要由甲烷组成，通常占比在85%至95%之间，还包含少量的乙烷、丙烷、丁烷以及氮气等成分。在LNG接收站中，由于储存和操作条件的变化，LNG会产生蒸发气（BOG）。BOG的成分比例会受到多种因素的影响。LNG的来源和组成会对BOG的成分产生影响。不同产地的天然气在成分上可能存在差异，这将导致初始的LNG成分有所不同，从而影响BOG的成分。例如，某些地区产出的天然气可能含有相对较比例的乙烷和丙烷。储存温度和压力的变化也是重要因素。当储存温度升高或压力降低时，LNG中较易挥发的成分，如乙烷和丙烷，会更快地蒸发出来，从而增加它们在BOG中的比例。LNG在接收站中的停留时间也会对BOG成分产生影响。停留时间较长时，LNG中的各成分有更充分的时间进行蒸发和扩散，可能导致BOG成分的相对平衡。以一个具体的LNG接收站为例，通过对BOG的采样和分析发现，在夏季高温时，BOG中乙烷和丙烷的含量明显高于冬季低温时。这一现象直观地展示了温度对BOG成分的显著影响。

### 1.2 蒸发气产生机理分析

LNG接收站中蒸发气的产生主要归因于热量的传入。热量可以通过多种途径进入LNG储罐，从而导致LNG气化产生BOG。热传导是其中一个重要的方式，储罐的壁面与周围环境存在温度差，热量会通过储罐的金属壁缓慢传入内部，使LNG温度升高并产生蒸发气。即使储罐采用了良好的绝热材料，仍无法完全阻止热传导的发生。热辐射也是不可忽视的因素<sup>[1]</sup>。太阳辐射以及周围环境中的高温物体都会向储罐辐射热量，尤其是在阳光直射的情况下，热辐射的影响更为显著。LNG充注过程中的搅动和摩擦也会产生热量，导致部分LNG气化。当新的LNG被注入储罐时，会与原有LNG发生混合和搅动，这一过

程中产生的摩擦热会使LNG温度上升，进而产生BOG。另一个产生BOG的原因是压力变化，当LNG储罐中的压力降低时，LNG的沸点也会随之降低，从而促使LNG气化产生BOG。例如，在卸料操作或向外输送LNG时，储罐内的压力会发生变化，导致BOG的生成量增加。

### 1.3 蒸发气处理前的重要性

在LNG接收站中，对蒸发气进行处理前的准确评估和分析具有至关重要的意义。第一、从安全角度来看，BOG的积累可能导致储罐内压力过高，增加了发生爆炸和泄漏的风险。如果不及及时处理BOG，一旦压力超过储罐的设计极限，可能会引发严重的安全事故，对人员生命和周围环境造成巨大威胁。例如，在某些情况下，由于BOG处理不当，储罐压力急剧上升，导致安全阀被迫开启，释放出大量的天然气，不仅造成了资源浪费，还可能引发火灾或爆炸等危险情况。第二、从经济角度考虑，BOG的产生意味着能源的损失，如果不加以有效利用或处理，这部分蒸发气将被白白浪费，增加运营成本。而且，BOG的处理需要消耗一定的能源和设备投入，如果能够在处理前进行精准的预测和控制，可以优化处理工艺，降低处理成本，提高接收站的经济效益。例如，通过精确的模型预测BOG的产生量，接收站可以合理调整设备运行参数，实现能源的高效利用和成本的节约。第三、对于环境保护而言，BOG中的甲烷等成分是温室气体，如果直接排放到大气中，将对环境产生负面影响。在全球气候变化的背景下，减少温室气体排放是当务之急，因此在处理BOG之前，必须充分考虑其对环境的潜在影响，并采取相应的减排措施。第四、BOG的产生和处理还会影响LNG接收站的运行稳定性和可靠性。如果BOG的产生量超出处理能力，可能会导致整个接收站的运行出现紊乱，影响LNG的正常储存和输送。

## 2 LNG接收站蒸发气处理工艺现状

目前，LNG接收站在蒸发气（BOG）处理工艺方面

取得了显著的进展。常见的处理工艺主要包括再冷凝工艺、直接压缩工艺和火炬放空工艺等。再冷凝工艺是应用较为广泛的一种方法。其原理是将BOG与从储罐中抽出的LNG进行热交换,使BOG重新液化。这一工艺具有较高的能源利用效率,能够有效减少BOG的排放,降低运营成本。直接压缩工艺则是将BOG直接压缩至外输管网所需的压力,然后并入管网进行输送。这种工艺相对简单,但能耗较高。一些小型LNG接收站由于处理量较小,可能会选择直接压缩工艺。火炬放空工艺通常作为应急手段,在BOG产生量过大或其他处理工艺出现故障时使用。这种方式会造成能源浪费和环境污染,因此在实际运营中尽量避免使用<sup>[2]</sup>。随着技术的不断进步,一些新的处理工艺也在逐渐崭露头角。比如,采用低温制冷技术提高BOG再液化的效率,或者利用智能化控制系统对BOG处理过程进行实时监测和优化,以提高处理工艺的稳定性 and 可靠性。在实际应用中,LNG接收站的BOG处理工艺仍面临一些挑战。不同接收站的BOG产生量和特性存在差异,使得通用的处理工艺难以完全适应所有情况。设备的维护和管理成本较高,对操作人员的技术水平也提出了较高要求。

### 3 蒸发气处理新工艺探索与实践

#### 3.1 新型蒸发气处理技术的研发与应用

在能源领域的不断发展中,对于蒸发气(BOG)处理的新技术研发一直是关注的焦点。近年来,一些新型的蒸发气处理技术逐渐崭露头角。膜分离技术是其中一项具有潜力的创新。它利用特殊的高分子膜对气体进行选择渗透,从而实现对BOG中不同成分的分离和回收。吸附技术也在BOG处理中展现出独特的优势。一些新型的吸附材料,如金属有机框架(MOFs)和沸石咪唑酯骨架结构材料(ZIFs),具有高比表面积和良好的选择性吸附性能,能够有效地吸附BOG中的特定成分,实现气体的分离和净化。低温精馏技术的发展也为BOG处理提供了新的途径。通过在极低温度下对BOG进行精馏,可以实现更精细的成分分离,提高回收产品的纯度和质量。

#### 3.2 工艺流程优化与改进

在蒸发气处理过程中,工艺流程的优化与改进对于提高处理效果和降低成本至关重要。可以对传统的工艺流程进行简化,去除一些不必要的环节和设备,减少能量消耗和设备投资。采用先进的控制策略来实现流程的精准控制,智能化的控制系统可以根据实时监测的参数,自动调整操作条件,确保工艺流程在最优状态下运行。例如,利用模糊逻辑控制或模型预测控制技术,能够更准确地控制温度、压力等关键参数,提高处理效率

和稳定性。对工艺流程进行热集成也是一种有效的优化方法。通过合理安排冷热物流的交换,充分利用热能,降低能源消耗。比如,将高温的BOG与低温的进料进行热交换,实现能源的回收利用。

#### 3.3 关键设备与材料的选择与性能评估

在蒸发气处理新工艺中,关键设备和材料的选择直接影响着处理效果和系统的可靠性。对于压缩机的选择,需要考虑其压缩比、效率、可靠性和维护成本等因素。离心式压缩机在处理大流量的BOG时具有优势,而往复式压缩机则适用于小流量、高压力的工况。压缩机的密封性能和耐低温性能也是重要的考量因素。换热器的性能对于能量回收和BOG处理效率有着重要影响。高效的板式换热器或管壳式换热器能够实现良好的热交换效果,但需要根据具体的工艺条件和介质特性进行选择<sup>[3]</sup>。换热器的材料应具备良好的耐腐蚀性和导热性能。在材料选择方面,用于处理BOG的管道和容器通常需要采用耐低温的不锈钢或铝合金材料,以确保在低温环境下的强度和密封性。保温材料的选择也至关重要,良好的保温性能可以减少热量散失,提高系统的能源效率。为了评估关键设备和材料的性能,需要进行严格的测试和实验。例如,对压缩机进行性能测试,包括流量、压力、功率等参数的测量;对换热器进行热交换效率测试;对材料进行低温拉伸、冲击等力学性能测试以及腐蚀试验。

### 4 LNG接收站蒸发气处理工艺效果评估与优化建议

#### 4.1 评价指标体系的构建与方法选择

对LNG接收站蒸发气处理工艺效果进行准确评估,首先需要构建科学合理的评价指标体系,并选择恰当的评估方法。评价指标体系应涵盖多个方面,从能源利用角度,包括蒸发气的回收利用率、处理过程中的能量消耗等指标。回收利用率越高,表明工艺能够更有效地将蒸发气转化为可用资源;而能量消耗越低,则意味着工艺的运行成本越低、能源效率越高。从环境影响方面,可考虑温室气体排放减少量、污染物排放浓度等指标。减少温室气体排放对于应对气候变化具有重要意义,而控制污染物排放则有助于保护周边环境质量。在经济性能方面,关注设备投资成本、运营维护成本、处理工艺带来的经济效益等指标。较低的投资和运营成本以及显著的经济效益,是工艺具有竞争力和可持续性的重要体现。在安全性方面,评估储罐压力稳定性、设备运行可靠性等指标。稳定的储罐压力和可靠的设备运行能有效降低安全风险。在选择评估方法时,可以采用定量分析与定性分析相结合的方式。定量分析方法如数学建模、统计分析等,能够对各项指标进行精确计算和比较。定

性分析方法则有助于对一些难以量化的因素进行评估,如工艺的操作复杂性、技术成熟度等。还可以采用层次分析法(AHP)、模糊综合评价法等多指标综合评价方法,将多个指标整合为一个综合的评价结果,更全面地反映工艺效果。

#### 4.2 实际应用案例的效果评估

以某大型LNG接收站采用的再冷凝工艺为例。在能源利用方面,经过监测和计算,蒸发气的回收利用率达到90%以上,处理过程中的能量消耗相对较低。这使得该接收站在能源利用上取得较好的效果,减少能源浪费。在环境影响方面,由于高效的回收利用,温室气体排放明显减少,对周边环境的污染物排放也符合严格的环保标准。从经济性能来看,虽然初期设备投资较高,但由于长期稳定的运行和较高的回收利用率,带来了显著的经济效益,在较短时间内收回了投资成本,并实现了盈利<sup>[4]</sup>。在安全性方面,尽管储罐压力总体保持稳定,但在某些特殊工况下,仍存在一定的压力波动风险,需要进一步优化工艺控制策略。再以另一接收站采用的直接压缩工艺为例。该工艺在能源消耗方面相对较高,导致运营成本增加。在环境影响方面,温室气体排放控制效果不如再冷凝工艺。但从经济性能角度,由于设备相对简单,初期投资成本较低。

#### 4.3 工艺优化建议与改进措施

基于对评价指标体系的构建和实际应用案例的效果评估,以下是一些针对LNG接收站蒸发气处理工艺的优化建议和改进措施。在工艺选择方面,应根据接收站的规模、蒸发气产生量、气源组成等因素,综合考虑选择最适合的处理工艺。对于大型接收站,再冷凝工艺通常具有更好的综合性能;而对于小型接收站,可根据实际情况选择直接压缩工艺或其他相对简单的工艺。在设

备改进方面,提高压缩机的效率和可靠性,采用新型的换热器提高热交换效率,优化储罐的绝热性能减少热量传入等。在操作优化方面,加强对工艺参数的实时监测和控制,根据实际运行情况及时调整操作条件。在技术创新方面,积极探索和应用新的处理技术,如膜分离技术、吸附技术等,结合传统工艺进行优化组合。利用智能化技术实现工艺的自动优化和故障诊断。在管理措施方面,建立完善的设备维护和管理制度,加强操作人员的培训和技能提升,确保工艺的安全稳定运行。

#### 结束语

综上所述,LNG接收站蒸发气处理工艺的研究具有重要意义。随着能源需求的增长和环保要求的提高,不断优化和创新处理工艺至关重要。未来,应进一步加大研发投入,结合先进技术和智能化手段,提高蒸发气的回收利用率,降低能耗和环境影响,以实现LNG接收站的高效、经济、环保运行,为能源领域的可持续发展做出更大贡献。

#### 参考文献

- [1]黄毅雄.LNG接收站蒸发气处理工艺研究[J].辽宁化工.2023.52(11):1620-1622.1626.DOI:10.3969/j.issn.1004-0935.2023.11.018.
- [2]贾保印.刘以荣.LNG接收站再冷凝器液气比的影响因素分析[J].能源化工.2023.44(1).DOI:10.3969/j.issn.1006-7906.2023.01.006.
- [3]吴洁.刘灿.LNG船舶蒸发气处理系统技术发展态势研究[J].舰船科学技术.2023.45(2).DOI:10.3404/j.issn.1672-7649.2023.02.001.
- [4]陈光铨.蒸发气回收利用技术在液化天然气接收站中的应用现状与进展[J].现代制造技术与装备.2021.(6).DOI:10.3969/j.issn.1673-5587.2021.06.039.