

# LNG接收站再冷凝工艺及运行控制分析

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：**文章深入探讨LNG接收站再冷凝工艺及运行控制。详细阐述再冷凝工艺原理及流程，分析其关键环节。重点论述运行控制方面，包括进口天然气的合理调节、再冷凝过程的精确控制、温度与压力的有效维持等。强调安全监测与应急处理措施的重要性。通过对工艺及运行控制的全面分析，旨在为提高LNG接收站再冷凝系统的效率、安全性与可靠性提供有益参考，助力该领域的进一步发展和优化。

**关键词：**LNG接收站；再冷凝工艺；运行控制

LNG作为一种重要的清洁能源，其接收站的高效运行至关重要。再冷凝工艺在LNG接收站中扮演着关键角色，直接影响着能源的存储与利用效率。本研究聚焦于LNG接收站再冷凝工艺及运行控制分析。通过深入探讨工艺原理与流程，剖析运行控制的各个环节，旨在揭示其中的关键要点和潜在问题。这不仅有助于提升当前LNG接收站的运行水平，也为未来该领域的技术创新和发展提供坚实的理论基础，推动LNG产业迈向更加成熟和高效的新阶段。

## 1 LNG接收站再冷凝工艺概述

LNG接收站的再冷凝工艺是一项关键且重要的技术。该工艺主要用于处理LNG蒸发气（BOG）。在LNG接收站的日常运行中，由于热量的传入等因素，LNG会不断产生BOG。再冷凝工艺的核心在于利用LNG自身的低温特性，将BOG与一定量的LNG进行混合。通过这种方式，BOG在低温LNG的作用下被冷凝，重新转化为液体状态。具体而言，BOG首先被收集和压缩，提升其压力，然后与从储罐中引出的LNG一同进入再冷凝器。在再冷凝器中，BOG与LNG充分接触和换热，实现冷凝过程。冷凝后的液体与LNG一起被送回储罐储存或进行后续处理。再冷凝工艺具有诸多优点。它能够有效回收和处理BOG，减少气体的排放，降低对环境的影响。同时它有助于维持接收站的压力平衡和稳定运行，确保LNG储存和输送的安全性。通过合理设计和精确控制再冷凝工艺，可以提高LNG接收站的整体效率和经济效益。再冷凝工艺在LNG接收站中发挥着至关重要的作用，是保障其安全、高效、环保运行的关键环节之一，对整个LNG产业链的稳定和发展有着深远的意义。

## 2 LNG接收站的基本结构和功能

LNG接收站主要由几个部分构成。码头部分是LNG运输船的停靠区域，配备有专业的卸料设施，用于接收

来自海外的LNG。储罐区拥有大型的LNG储罐，用于储存液化天然气，这些储罐具备良好的绝热性能，以确保LNG处于低温状态。再冷凝器是关键设备之一，用于处理蒸发气，实现气体的回收和再利用<sup>[1]</sup>。在功能方面，接收站首要的功能是接收和储存LNG。通过码头接收LNG并将其安全地存储在储罐中，为后续的使用和分配做好准备。它还承担着气化和外输的功能，将LNG转化为气态天然气，并通过管道等方式输送到各个用气区域。此外，LNG接收站具有对LNG进行预处理和净化的功能，以保证天然气的质量。它也是能源调配的重要节点，在天然气供应体系中起着关键的平衡和保障作用。接收站还配备有一系列的安全防护设施和监控系统，以确保整个运作过程的安全可靠，保障周边环境和人员的安全。LNG接收站是天然气产业链中不可或缺的重要环节，对能源供应和经济发展具有重要意义。

## 3 LNG接收站再冷凝系统运行原理与关键设备

### 3.1 再冷凝系统运行过程和原理

LNG接收站的再冷凝系统是一个复杂但高效的系统。其运行过程主要围绕着对蒸发气（BOG）的处理。当LNG在储存过程中产生BOG后，BOG首先被收集并进入压缩机进行压缩，提高其压力。压缩后的BOG与从LNG储罐中引出的过冷LNG一同进入再冷凝器。在再冷凝器内，BOG与过冷LNG充分接触，BOG中的气相分子在低温LNG的作用下失去热量，从而被冷凝为液体。这一过程遵循了热力学的基本原理，利用低温介质降低气体温度使其达到冷凝点。再冷凝后的混合液体通过重力或泵的作用返回LNG储罐，从而实现了对BOG的回收和再利用，维持了接收站系统内的压力平衡和物料稳定。

### 3.2 主要再冷凝设备的功能和作用

再冷凝器是该系统的核心设备，它提供了BOG与LNG进行热交换和冷凝的场所。其内部结构设计合理，

以确保BOG和LNG能够充分混合和换热。再冷凝器通常具有良好的绝热性能,以减少热量的传入,维持内部的低温环境。BOG压缩机在系统中起着关键作用。它将低压的BOG压缩至较高压力,使其能够与过冷LNG有效地进行再冷凝过程。BOG压缩机的性能直接影响着再冷凝系统的效率和稳定性。LNG输送泵则负责将过冷LNG从储罐输送到再冷凝器,它需要具备可靠的运行性能和精确的流量控制能力,以满足再冷凝过程对LNG量的需求。各类仪表和传感器在系统中也发挥着重要作用。它们实时监测系统的压力、温度、流量等关键参数,为操作人员提供准确的数据,以便及时调整和优化系统的运行状态<sup>[2]</sup>。

### 3.3 控制阀、冷却器等关键设备的作用和选择

控制阀在再冷凝系统中扮演着重要角色,流量控制阀用于精确控制LNG和BOG的流量,以确保再冷凝过程中两者的比例合适,实现最佳的冷凝效果。压力控制阀则用于调节系统内的压力,保证系统在安全的压力范围内运行。在选择控制阀时,需要考虑其精度、可靠性、响应速度以及适应的压力和温度范围等因素。高质量的控制阀能够提供稳定、准确的控制,减少系统的波动和故障。冷却器的主要作用是对BOG进行初步冷却,降低其温度,为后续在再冷凝器中的冷凝创造更好的条件。冷却器的选择要根据系统的具体需求和工艺参数来确定。例如,要考虑冷却介质的类型、冷却能力、压降等因素。常见的冷却器类型包括管壳式冷却器、板式冷却器等,每种类型都有其特点和适用场景。对于再冷凝系统中的关键设备选择,还需要综合考虑以下因素:(1)可靠性:设备应具有高可靠性,能够长期稳定运行,减少故障和维修次数。(2)性能匹配:各设备之间的性能要相互匹配,以确保整个系统的协同工作效果。(3)维护方便性:便于进行日常维护和检修,降低运营成本。(4)成本效益:在满足性能要求的前提下,选择具有合理价格和较低运行成本的设备。同时在设备的安装和调试过程中,要严格按照规范和标准进行操作,确保设备的正确安装和良好运行。定期对设备进行维护和保养,及时发现和解决潜在问题,延长设备的使用寿命,保障再冷凝系统的高效、稳定运行,为LNG接收站的安全、可靠运营提供坚实的基础。再冷凝系统中的关键设备各自承担着重要的功能,它们相互协作,共同实现对BOG的有效处理和回收。在设备的选择和应用过程中,需要充分考虑各种因素,以确保系统能够达到最佳的运行效果和经济效益。

## 4 LNG接收站再冷凝系统的运行控制

### 4.1 进口天然气调节和压缩措施

在LNG接收站再冷凝系统中,进口天然气的调节至关重要。首先,需要精确地控制天然气的流量,以确保其与系统内其他部分的协同运作。通过安装高精度的流量调节阀,可以实现对进口天然气流量的细微调整,适应不同工况下的需求。要密切监测进口天然气的压力,根据压力变化及时进行调整,以维持系统的稳定。对于天然气的压缩,采用先进的压缩机技术是关键。压缩机的选型要充分考虑其压缩能力、效率、可靠性等因素。在运行过程中,要根据天然气的压力需求,合理设定压缩机的运行参数,如压缩比、转速等。为了提高压缩效率和降低能耗,还可以采用多级压缩的方式,并配备有效的冷却系统,以降低压缩过程中产生的热量。压缩机的日常维护和保养也不容忽视,定期进行检查、维修和保养,确保其长期稳定运行。

### 4.2 再凝汽和气体分离过程的运行控制

再冷凝过程的精确控制对于系统的高效运行至关重要。需要实时监测再冷凝器内的温度、压力和液位等关键参数,通过调节LNG的流量和BOG的压缩比,来确保再冷凝过程的顺利进行。利用先进的控制系统和传感器,实现对这些参数的精确测量和快速反馈,以便及时调整控制策略<sup>[3]</sup>。在气体分离过程中,要确保分离设备的正常运行。通过优化分离设备的结构设计和运行参数,提高气体分离的效率和纯度。要建立完善的气体质量监测体系,对分离后的气体进行实时检测,确保其符合相关标准和要求。对于不符合要求的气体,要及时采取措施进行调整或处理,以避免对后续工艺和设备造成不良影响。为了提高再凝汽和气体分离过程的稳定性和可靠性,可以采用自动化控制系统进行集中管理和控制。该系统可以根据预设的程序和算法,自动调整设备的运行参数,减少人为因素的干扰和误差。并且,要建立应急预案,针对可能出现的异常情况提前制定应对措施,确保在紧急情况下能够迅速、有效地进行处理。

### 4.3 再冷凝设备的温度和压力控制

维持再冷凝设备合适的温度和压力是保障系统正常运行的关键。温度控制方面,通过精确调节LNG的流量和冷却介质的温度、流量等参数,来实现对再冷凝器内温度的有效控制。采用高效的冷却系统,如冷水机组或冷却风扇等,及时带走再冷凝过程中产生的热量。同时要对再冷凝器的绝热性能进行定期检查和维修,确保其良好的绝热效果,减少热量的散失。对于压力控制,设置合适的压力调节阀和安全阀是必要的。压力调节阀可以根据系统内的压力变化自动调节开度,维持压力的

稳定。安全阀则在压力超过设定值时自动开启，释放多余的压力，保障设备和系统的安全。要建立压力监测系统，实时监测再冷凝设备内的压力变化，以便及时发现和处理异常情况。在温度和压力控制过程中，要充分考虑环境因素的影响。例如，外界气温的变化可能会对冷却系统的效率产生影响，需要及时调整。同时要根据不同季节和工况的特点，合理优化控制策略，以实现最佳的控制效果。

#### 4.4 安全监测与应急处理措施

安全监测是LNG接收站再冷凝系统运行的重要保障。首先，要安装全面的安全监测设备，如气体探测器、温度传感器、压力传感器等，实时监测系统内的各项关键参数。这些监测设备应具备高精度、高可靠性和快速响应的特点，以便及时发现潜在的安全隐患。建立完善的监控系统，将各个监测设备的数据集中进行管理和分析。通过数据分析和预警模型，提前发现可能出现的异常情况，并及时发出警报。要安排专人对监控系统进行实时值守，确保能够及时响应警报并采取相应的措施。在应急处理方面，制定详细的应急预案是必不可少的。应急预案应包括各种可能出现的紧急情况，如火灾、爆炸、泄漏等，以及相应的应对措施和责任分工。定期组织应急演练，提高员工的应急响应能力和协同作战能力<sup>[4]</sup>。配备充足的应急救援物资和设备，如消防器材、堵漏工具、个人防护装备等。确保这些物资和设备随时处于可用状态，并定期进行检查和维护。要建立应急救援队伍，队员应具备专业的应急救援知识和技能，能够在紧急情况下迅速、有效地开展救援工作。加强员工的安全培训和教育，提高员工的安全意识和应急处理能力。让员工充分了解再冷凝系统的运行原理、安全风险和应急处理措施，掌握正确的操作方法和安全注意事项。要与当地的消防、环保、医疗等部门建立良好的沟通和协作机制，在发生紧急情况时能够迅速得到外部支援和协助。定期对安全监测和应急处理措施进行评估和改进，根据实际运行情况和经验教训，不断完善安全管

理体系，提高LNG接收站再冷凝系统的安全性和可靠性。通过以上多方面的努力，确保LNG接收站再冷凝系统的安全、稳定、高效运行，为天然气的供应和利用提供坚实的保障。LNG接收站再冷凝系统的运行控制涉及多个方面，包括进口天然气的调节和压缩、再凝汽和气体分离过程的控制、再冷凝设备的温度和压力控制，以及安全监测与应急处理措施等。只有通过全面、细致的管理和控制，不断优化运行策略和提高设备性能，才能确保再冷凝系统的安全、稳定、高效运行，为LNG接收站的整体运营和发展提供有力支持。要不断加强安全管理和应急处理能力，提高应对突发事件的能力和水平，保障人员生命财产安全和环境安全。

#### 结束语

通过对LNG接收站再冷凝工艺及运行控制的深入分析，更加清晰地认识到其复杂性和重要性。工艺的合理设计与精确实施是确保系统高效运行的基础，而运行控制的科学管理则是保障系统稳定与安全的关键。在未来的发展中，需要不断探索创新技术，持续优化工艺和控制策略。加强人员培训与管理，提升应急处理能力，以更好地应对各种挑战和变化。只有这样，才能使LNG接收站再冷凝系统不断完善，为能源供应和经济发展发挥更大的作用。让我们携手共进，为推动这一领域的进步而努力。

#### 参考文献

- [1]吴明.朱祚良.孙东旭.等.针对LNG接收站BOG再冷凝工艺预冷法优化方案的改进[J].化工进展.2019.38(5):2521-2526.
- [2]杜笑阳.朱祚良.吴明.LNG接收站BOG再冷凝工艺影响因素及优化[J].当代化工.2020.49(8):1762-1766.
- [3]唐凯.朱祚良.吴明.等.LNG接收站BOG再冷凝工艺优化与能耗分析[J].当代化工.2019.48(5):1032-1035.
- [4]王亮.LNG储运模式创新研究[J].石化技术.2019,26(8):321-322,367.