

LNG 加注船在接收站返装的工艺技术和注意事项浅析

潘峰峰 赵来 王俊鹏 王宇辉（中海浙江宁波液化天然气有限公司，浙江 宁波 315800）

摘要：随着全球航运市场对清洁能源需求的增长，液化天然气（LNG）加注市场也在快速发展。LNG 加注船是加注的桥梁，承担着重要的任务。液化天然气（LNG）加注船在接收站进行返装时，需要注意工艺技术的合理应用及相关操作的安全性。本文从 LNG 加注船返装工艺技术出发，分析返装过程中的关键技术及注意事项。通过对工艺流程、设备操作和安全管理的详细研究，为提高 LNG 加注船返装效率和安全性提供理论依据和实践指导。

关键词：LNG 加注船；接收站；返装工艺；技术应用；安全注意事项

0 引言

LNG（液化天然气）作为一种清洁能源，正在全球范围内得到越来越广泛的应用。LNG 加注船作为液化天然气运输的重要工具，为以 LNG 为动力燃料的运输船舶加注 LNG，其在接收站进行返装作为加注业务中的一环，需确保高效和安全的操作。本文旨在探讨 LNG 加注船在接收站返装的工艺技术及其注意事项，通过对相关工艺和设备的详细分析，为操作人员提供系统化的指导。

1 LNG 加注船的返装工艺技术

1.1 返装工艺流程概述

LNG 返装船在接收站返装的主要工艺流程为：LNG 经接收站储罐内返装船泵（或低压泵）加压输送至卸料总管，通过液相臂（以卸料臂 B/C 为例）输送至 LNG 加注船（船方装卸歧管配置为 2 条液相管线、1 条气相管线，对应接收站 2 条卸料臂 B、C 及气相臂）。返装船作业期间船岸双方通过气相管道及返气臂进行气相连通，保持返装船作业期间压力安全平衡稳定。

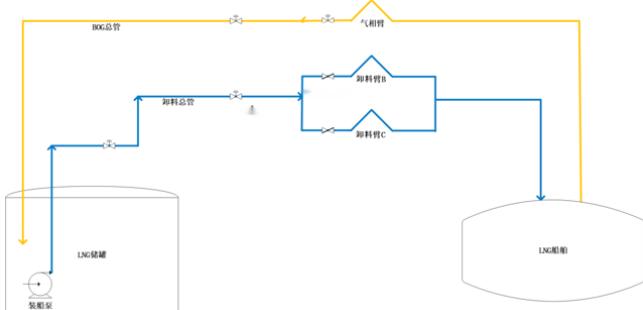


图 1 返装船工艺流程示意图

LNG 加注船在接收站返装整体流程可以分为五个主要阶段。准备阶段，首先需要进行返装前会议，由船方船长、大副和接收站船务监督召开返装前会议，

会议内容包括卸料臂（装货臂）的连接和预冷（确认是否冷舱）、ESD（紧急切断）测试和装船流程、船岸安全检查、建立定期汇报机制和应急处置程序等，详细检查所有阀门和安全装置是否正常工作。此外，还需根据天气、潮汐和船舶舱位等外部条件进行综合评估，以确保返装操作的安全性。

在船岸连接阶段，需按照规定程序完成船岸通讯连接与测试、卸料臂连接及气密性测试、装船前计量、热态 ESD 测试，着重监控连接处的密封状态，防范任何潜在的 LNG 泄漏风险。

冷舱（若需要）及卸料臂预冷阶段，因为卸料臂平常为常温状态，LNG 为低温液体，运行温度为 $-150\sim-160^{\circ}\text{C}$ ，为了保证卸料臂和附属管道不会因为温差过大而形变损坏，故在返装前需要进行卸料臂预冷，若加注船内 LNG 较少或无 LNG，船舱内温度偏高（ -100°C 以上），还需进行冷舱操作，通过 LNG 喷淋降低船舱温度，以满足进 LNG 液体返装条件，防止温差过大使船舱设备设施形变损坏。

返装阶段需要按照操作程序启动返装船泵，同步控制泵出口阀门和加注船进液阀门开度，保证卸料总管压力变化不超过 0.5Bar，防止加注船进液阀门提前打开或开度过大，导致卸料管线内液体瞬间涌入加注船舱内，大量 LNG 闪蒸使船舱压力骤升，损坏舱内设备设施。

收尾检查阶段集中在吹扫并断开卸料臂（液相臂和气相臂）和船岸通讯电缆，要确保卸料臂内可燃气体吹扫置换合格。同时，对整个返装过程进行记录保存，以备后续审核和分析使用。^[1]

1.2 返装关键设备简介

在 LNG 返装过程中，多个关键技术设备保障着整个操作的安全和效率。首先，卸料臂（装货臂）是连

接接收站和船舶的核心装置，其设计需满足高强度的操作要求，并保证良好的弹性和密封性能。卸料臂有多层保护机制，如停止卸料、紧急脱开等，以应对极端气候和海况下的返装需求。其次，返装船泵是返装过程中动力的核心，其浸没在接收站储罐的 LNG 里，有液位运行要求，以确保在操作过程中，LNG 的流动稳定且无气蚀。此外，返装工艺少不了流量计和温度传感器，这些设备帮助控制和监测 LNG 流动的准确性和过程条件。^[2] 自动化监控系统集成了上述设备，在不断采集操作过程中的各项数据后，实时作出反馈和调整，为操作人员提供精准的指导和警示，这些技术设备协同工作，确保 LNG 加注船返装的安全、高效进行。^[3]

1.3 工艺参数控制

1.3.1 温度控制

在 LNG 加注船的返装过程中，工艺参数控制是确保操作稳定性和安全性的关键环节。温度控制技术是其中的重要组成部分，因 LNG 的低沸点特性（约 -162℃），需要精确的温度控制以防止船舱、卸料臂（装货臂）及附属管道设施因温差大发生形变损坏。此外，许多系统还配备实时温度监测仪器，以不断获取温度读数，监控其在安全范围内。如有温度异常波动，操作人员及时调整，保障返装操作的安全性。

1.3.2 压力及 BOG 控制

在返装过程中，LNG 加注船和接收站储罐之间的压力差需要精确控制，压力过高或过低都可能导致机械故障或安全隐患。系统中的压力传感器实时监控和反馈管道及储罐内的压力值。返气臂的自动调压阀则根据传感器的数据，调节管道和储罐之间的压力差，保持压力平衡。

LNG 加注船靠泊码头期间，优先通过 GTE（作为船舶动力燃料）或 GCU（气体燃烧装置）消耗多余 BOG，以控制船舱压力。船舱气相空间平均温度低于船岸双方商定温度时，船方可通过气相管线及气相臂向接收站输送 BOG。LNG 加注船抵港前，接收站将储罐压力尽可能降低，合理安排装船期间气态外输量，确保外输量可回收 BOG 压缩机满负荷运行下的处理量。当接收站储罐压力达到操作上限压力或 BOG 压缩机无法正常工作时，接收站打开火炬管线阀门，将多余 BOG 输送至火炬燃烧。装货期间以及装货结束后，LNG 加注船通过向接收站返回 BOG 的方式将船舱内 LNG 液货温度降至航行船舶燃料加注货温要求。同时，所有关键组件都通过定期维护和校准确保最佳性能，

以应对在极端条件下的压力变化。^[4]

1.4 自动化系统的应用

LNG 加注船的返装工艺中，自动化系统的应用显著提升了操作安全性和效率。自动化系统能根据不同的操作条件（如温度、压力和流量）自动调整相关设备，以保证流动平稳和参数处于设定范围内。通过 DCS 界面，操作人员可在中央控制室实时查看数据和操作状态，并远程进行调整，提高了反应速度和处理能力，使得每个阶段都在严格控制之下，确保返装操作的经济与安全性。这样的自动化系统经过模块化设计，具有良好的扩展性，可结合未来技术的发展进行升级和扩展，更好地支持现代化 LNG 返装、运输需求。^[5]

2 返装过程中的注意事项

2.1 安全操作规程

LNG 加注船的返装作业中，安全操作规程是保障作业顺利进行的基石。所有参与人员必须接受专业的安全培训及交底，了解返装过程中的风险，如 LNG 的冷冻伤害和气体泄漏引发的爆炸风险。在返装之前，操作人员应穿戴防护装备，包括劳保服、防护手套和护目镜，以减少低温 LNG 接触对人体的危害。同时，操作人员必须按照既定程序进行设备连接与分离，反复确认法兰密封状态。LNG 加注船应与接收站卸料臂、登船梯等码头设备相兼容，确保在极限海潮液位下可以顺利靠泊，且确保卸料臂、登船梯等设备操作范围不会超限。每一个操作若出现异常状态（如压力或温度的急剧变化），应立即停止操作，分析原因并进行必要的紧急处理。此外，现场应有明确的安全标识引导操作人员在紧急情况下快速撤离，且应急通道畅通无阻。

2.2 环境防护措施

LNG 的返装操作对环境有潜在风险，故实施有效的环境防护措施至关重要。首先，严格控制 VOCs（挥发性有机化合物）的排放，返装场地需配备泄漏检测系统，能够实时监控泄漏情况，并在检测到潜在泄漏时发出报警。同时，制定相应的溢油和泄漏应急计划，确保发生意外时，能立刻启动环境清理和恢复程序，控制泄漏范围。通过这些完善的环境防护措施，能够有效降低 LNG 返装过程中对环境的影响，维护当地生态的可持续性。^[6]

2.3 风险识别与应急措施

在 LNG 加注船的返装过程中，风险识别与应急措施是确保操作安全的重要组成部分。这一过程主要风险包括泄漏、压力异常、温度剧烈变化及机械故障等。

泄漏是最常见的风险,由于LNG的极低温和高挥发性,一旦泄漏可能引发火灾或爆炸。因此,操作现场须配备灵敏的气体泄漏检测仪器,实时监控空气中的LNG浓度。现场应备有消防设备器材,并确保相关人员掌握正确的使用方法。压力异常是另一个要密切监控的因素。在LNG装载过程中,若压力升高过快或不平衡,可能对设备造成损坏或爆炸风险。为此,采用压力传感器等技术装备进行实时监测和调节,一旦发现异常,立即调整系统以恢复平衡。应急措施包括释放多余压力以防止设备损坏,及快速排除异常原因以恢复正常操作。另外,温度剧烈变化也是风险之一。温度监控系统应能够快速反应,避免因温度变化造成的安全隐患。在制定应急计划时,应确保所有操作人员接受过详细的培训,熟悉应急撤离路线和操作步骤。现场必须设有明确的紧急通道和安全标识,以确保在任何突发情况下可以迅速有序地疏散。此外,定期举行应急演练,通过模拟事故场景提高员工的应急响应能力。LNG加注船相较于LNG运输船,船舶尺寸差异较大,靠离泊及稳泊作业期间应加强卸料臂、登船梯等船岸界面设备设施及缆绳受力、船舶位移情况的监控,发现异常情况及时协同船方处理。当返装船期间登船梯布放位置及空间不佳时,应在人员上下船后及时收回登船梯。这些措施共同保障返装工作在所有情况下的高效、安全进行。

3 未来发展方向

3.1 技术创新与优化策略

在LNG加注船领域的未来发展中,技术创新与优化策略将扮演关键角色。首先,随着全球对洁净能源需求的增长,必须加速开发和应用更高效、可靠的LNG储存与运输技术。一项重要的创新方向是开发新型材料和技术来提高LNG储罐的绝缘性能和耐用性,降低热损失和LNG蒸发率。此外,智能传感器和物联网技术的集成将进一步优化LNG运输的安全和效率。这些高精度传感器能够实时监控运输过程中各种关键参数(如温度、压力),并通过人工智能平台分析数据,以智能化地调整操作条件,实现自动化优化。同时,通过采用先进的热交换器设计和新的液化循环方案,工艺中的能源利用效率将得到显著提高。此外,将碳捕获技术与LNG生产相结合,不仅可以减少温室气体排放,还能为企业实现碳中和目标注入更多动力。这些技术创新和优化策略共同推动LNG加注产业在满足经济效益的同时,进一步践行可持续发展的理念。^[7]

3.2 安全管理体系的提升

未来LNG加注船的安全管理体系也将迎来全面提升。随着技术经验的积累和法规要求的日趋严格,安全管理愈发依赖于系统化、标准化的综合管理体系。一方面,引入大数据分析技术,有助于建立更为动态和智能化的风险评估模型。通过分析历史数据和实时运行数据,可以预测潜在风险,提前制定和实施针对性预防措施。此外,结合虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术的培训和演练,将为操作人员提供更真实的模拟环境,以提高他们的应急响应能力。另一方面,通过与政府机构和行业标准组织的协作,安全体系能快速调整和适应新法规及标准的变化。这一全方面的提升不仅能显著提高LNG加注船的安全性,更能增强应对不确定性和突发事件的能力,为全行业树立更高的安全管理标杆。

4 结束语

本文系统分析了LNG加注船在接收站的返装工艺技术及安全注意事项,为保障操作安全提供了理论和实践指导。在未来的研究中,建议进一步关注新技术的融入,特别是在数字化和智能化方面的探索。例如,物联网和人工智能在LNG管理系统中的应用,可进一步提高数据分析能力,从而实现更精细的操作控制和风险预测。

参考文献:

- [1] 高涛,蔡斌,梁黎明,等.LNG加注船的引航操作和管理要点[J].航海技术,2024(04):36-40.
- [2] 魏来.LNG加注船MARK III型货舱KCC油漆特涂重难点分析及施工改进[J].中国水运,2024(05):63-65.
- [3] 唐森.LNG加注船蒸发气管理探究[J].中国水运,2024,24(02):56-58.
- [4] 刘友坤.7500m³LNG加注船关键技术应用[J].船电技术,2024,44(04):33-36.
- [5] 刘洪亮,孙雯,吴志华,等.LNG加注船风险分析方法适用性分析[J].机电设备,2023,40(05):108-116.
- [6] 胡秀媛.LNG加注船液货系统的设备配置及操作分析[J].上海船舶运输科学研究所学报,2023,46(04):15-19+25.
- [7] 石云鹏.大型LNG加注船靠泊单锚泊空载油轮实操及探索[J].珠江水运,2023(16):56-58.

作者简介:

潘峰峰(1988-),男,汉族,浙江绍兴人,大学本科,中级工程师,研究方向:液化天然气接收站工艺技术。