

液化天然气 (LNG) 的制备与储存运输分析

安 帅 (阳泉华新液化天然气有限公司, 山西 阳泉 045000)

摘 要: 液化天然气作为一种清洁能源, 现实中有着越来越广泛的应用。通过研究液化天然气制备与储存运输, 明确其中需要注意的问题, 有助于推动该行业的健康发展。鉴于此, 文中分析液化天然气的特点, 总结其制备工作流程, 着重探讨储运安全管理策略, 以提升液化天然气储运的安全性, 充分发挥液天然气的优势, 并为类似研究提供借鉴。

关键词: 液化天然气; 制备工艺; 储存运输; 安全管理

0 引言

随着国内能源消耗增长与环境保护意识提升, 有力推动清洁能源的发展。液化天然气 (LNG) 作为一种清洁能源, 凭借自身低碳排放和灵活运输特性, 逐渐成为国内能源结构转型的主要选择。近年来, LNG 的需求量逐年增长, 其制备、储存、运输及使用过程中的安全风险, 一直阻碍其广泛推广。为了深入探讨 LNG 制备与储运安全问题, 寻求有效的解决方案, 文中从 LNG 制备工艺入手, 解析生产过程的技术要点。同时, 系统性分析现有安全管理措施, 评估其在实际操作的局限性, 并为类似研究提供借鉴。

1 液化天然气的特点

LNG 作为一种能源, 有着易燃易爆、高能量密度及低温储存要求, 这些都决定了使用过程中需要特别小心。这些特性不仅对 LNG 生产提出了挑战, 也对其储存和运输提出了更高要求。

1.1 易燃易爆性

由于常温常压下 LNG 具有极高挥发性, 一旦遇到点火源, 迅速转变为气态, 形成可燃气体。这一转变不仅速度快, 而且体积膨胀巨大, 导致封闭空间内迅速积聚大量可燃气体, 从而引发爆炸。因此, LNG 储存运输过程中采取严格安全措施, 并防止接触到任何可能的点火源。

1.2 高能量密度

LNG 能量密度数倍于自身气态形式, 使得它成为一种非常高效能源载体。LNG 体积能量密度远高于其气态天然气, 意味着相同体积下 LNG 可以提供更多能量。这一特性使得长距离运输和储存方面更具有优势, 适合用于需要大量能源供应的工业和远洋运输。

1.3 低温储存要求

LNG 另一个特点就是低温储存。为了保持 LNG 的液态, 储存必须在极低温度下进行, 通常在 -162°C 左右。这样低温对储存设备材料、保温性能及整体设

计提出极高要求。LNG 储存设备能够承受极端低温, 还要具备良好绝热性能, 以减少能量损失, 确保 LNG 储运的稳定。

2 液化天然气的制备工艺

2.1 整体工艺流程

液化天然气制备工艺流程复杂, 液化前需要进行处理, 提高其纯净度, 整体工艺流程为: 原料气计量调压→原料气增压→脱酸及胺液再生→脱水→脱汞及脱粉尘→制冷剂压缩与制冷液化→LNG 储存→LNG 装车。

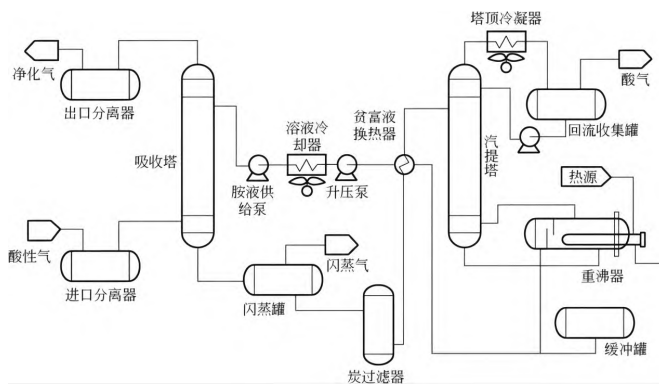


图1 液化天然气制备流程图

从气田或储气库中采集天然气, 经过精确计量和调压后, 确保其压力满足后续工序的要求。这一步骤是整个处理流程的基础, 保证原料气稳定性。原料气进入增压脱酸和胺液再生, 通过增压提高气体流动性, 利用胺液吸收酸性气体, 如硫化氢和二氧化碳, 去除这些可能腐蚀设备的杂质; 原料气进入脱水工序, 去除水分确保天然气热值, 避免液化过程出现冰堵现象; 脱汞和脱粉环节通过特定脱汞剂和除尘设备, 去除天然气的固体颗粒, 提高原料气纯净度。

完成上述净化步骤后, 原料气被导入冷箱, 在冷箱中与经制冷剂压缩机压缩后的混合制冷剂进行换热。这一过程中原料气热量被制冷剂吸收, 温度降低至接近液态; 低温高压的条件下原料气液化, 形成液化天然气 (LNG)。液化后 LNG 体积小、易于储存和运输。液

化完成 LNG 被输送至储存设施,通常为高度绝缘储罐,保持其低温液态状态并防止气化。LNG 通过装车系统装载到专用运输车辆中,准备进行运输。整个 LNG 制备工艺流程需要精密控制,以确保产品最终达到标准。

2.2 天然气预处理

液化天然气预处理关系到产品最终质量。液化开始前,需要对原料天然气进行净化处理,去除影响液化效率和产品质量的杂质。这些预处理措施主要包括:

①脱水。由于液化天然气在低温下运输和储存,水分的存在可能形成冰,阻塞设备并增加操作风险。因此,通过吸附或冷却方法,将原料气中的水分降至极低水平。②脱酸。天然气中酸性气体,如硫化氢(H_2S)和二氧化碳(CO_2),不仅会腐蚀液化设备,还可能在液化过程中形成酸性液滴,影响产品纯度。通过化学吸收或物理分离技术,可以有效地去除酸性成分。③脱汞处理。通过使用特殊吸附剂,捕获并去除原料气中的汞。④粉尘和其他固体颗粒会磨损设备,降低热交换效率,极端情况下引发安全事故。通过过滤或其他分离技术,清除这些固体杂质。

2.3 混合制冷剂液化工艺

LNG 生产过程中,常见方法之一就是混合制冷剂液化工艺。混合制冷剂循环法因操作简便、系统稳定及成本较低,广泛受到人们的青睐。

原料气进入压缩机前,需要进行预处理,确保其满足后续工艺要求。预处理包括去除杂质、水分和调整气体组成等,防止液化过程中出现堵塞或腐蚀问题。经过预处理原料气随后被引入压缩机,经历增压过程。加压后原料气接着进入冷凝器,与冷却介质热交换,原料气温度下降。随后气体流经冷却器,进一步降低其温度,做好节流准备。

节流阀的作用下原料气精神压力骤降,伴随着温度急剧下降。最终,原料气主热交换器中完成冷却过程。与已经液化混合制冷剂进行热交换,进一步降低原料气温度,直至达到液化条件。整个液化过程中,需要控制好温度。例如,冷箱内原料气温度被精确控制在 $-48^{\circ}C$,原料气中重烃组分会从气态转变为液态,实现与轻烃组分。这一分离过程有效地去除原料气的芳香烃类杂质,成功分离杂质后,原料气温度被进一步降低至 $-155^{\circ}C$,原料气中大部分组分已经液化。通过减压和节流操作温度继续下降至 $-160^{\circ}C$,原料气完全转变为液态,形成了液化天然气(LNG)。

液态 LNG 被收集并装入专用产品罐中,准备进行储存或运输。提高天然气的储存和运输效率,大大减少了天然气体积,从而降低运输成本。

3 液化天然气储运方式

3.1 槽车运输

LNG 槽车运输适用于短途和小规模运输。这种方式优势在灵活性高,能够快速响应不同地点天然气需求,适合于那些没有直接连接到大型天然气管道网络的地区。由于 LNG 槽车可以自由移动,轻松地穿梭于城市街道和乡村小路,进入那些大型运输工具难以到达的地方。LNG 槽车运输的成本较低,这主要得益于小规模运输及较低基础设施要求。与建设昂贵的管道系统或使用大型船舶运输相比,LNG 槽车不需要大量的前期投资,降低了整体运输成本。这种成本效益在小规模运输市场中尤为重要,允许小型企业或个体经营者以较低成本参与到液化天然气产业链中。同时,LNG 槽车运输还具有较高的安全性,LNG 槽车设计制造过程中采用多重安全措施,不限于严格测试压力容器、紧急切断装置及温度压力监控。这些措施确保了运输过程安全性,即使面对极端天气,液化天然气也能被安全地运输。

3.2 船舶运输

LNG 船舶运输作为一种高效且成熟的运输方式,在国际液化天然气(LNG)贸易中扮演着至关重要的角色。这种运输方式特别适合于处理大规模的 LNG 货物,并且能够覆盖长距离的海上运输需求。LNG 船舶通常配备有高度专业化的液货舱,这些舱室能够在极低温度下安全地储存液化天然气,从而确保货物在整个运输过程中的稳定性和安全性。LNG 船舶的规模从小型沿海运输船到巨型远洋运输船不等,它们能够适应不同的运输需求和航线条件。这些船舶的设计和建造都需要遵循严格的国际安全标准,以确保在运输过程中的环保和风险控制。

此外,LNG 船舶的运营也需要专业的船员团队和先进的导航系统,以应对复杂的海洋环境和确保航行的顺畅。在全球能源市场中,LNG 船舶运输不仅提高了能源供应的灵活性,还促进了全球能源的多元化和平衡。通过 LNG 船舶,能源出口国能够将清洁能源安全、高效地输送到世界各地,满足不同国家和地区对天然气日益增长的需求。同时,这也为进口国提供了更多的能源选择,有助于降低对单一能源来源的依赖,增强能源安全。

3.3 管道运输

管道运输 LNG 相较于其他运输方式,如海运或陆路运输,具有一系列显著的优点。管道运输具有连续性和稳定性,不受天气条件影响,确保能源供应的连续性。由于 LNG 管道通常埋于地下,这减少事故发生

的风险,并且管道的设计和建造都遵循严格的安全标准,以确保运输过程中的安全性。管道运输具有较高的能效。管道运输过程中能量损失较小,这使得它成为一种更为经济的运输方式。LNG 管道运输还具有战略意义,尤其是在能源供应多样化和能源安全方面。通过管道连接不同国家和地区,增强能源供应的灵活性,减少对单一能源供应源的依赖。

4 液化天然气储存运输管理措施

4.1 做好储运设备设施管理

做好储运设备的日常维护工作能够减少储运设备的异常问题,还能延长设备的使用寿命,提升综合效益。储运设备在长期工作过程中,灰尘和油污不可避免,这些物质的堆积会对储运设备的正常工作造成不利影响,难以保证绝缘层和套管的正常运作,因此需要做好日常的清理工作。另外,还要实时监测储运设备中的分接开关,做好连接器的紧固工作,确保机械传动和电气操作准确,在日常维护过程中还能及时解决螺栓松动导致的异常问题。

对于储运设备的维护和管理,相关人员必须结合其实际设计合适的维修和管理方案,特别是系统搭建成功之后,一定要做好平台和系统的维护工作,通过提前检查和维护,避免影响其正常运行的问题的发生。由于技术要求,在系统操作和维护过程中一定要聘请专业人员进行,同时联合人力资源部和技术部,对储运设备的使用要求进行明确和规范,并配备对应责任落实机制,定期对系统进行维护,设备进行保养,分工明确的基础上多方努力,提升储运设备的运行成效。此外,在储运设备运行过程中一定要注意关键操作流程的落实,要求工作人员必须按要求规范操作,确保其全面掌握储运设备运行的操作规范,掌握相关要点和规律。

4.2 有效预防储运“翻滚”事故

LNG 储运过程中,由于其低温特性和易挥发性,存在一定安全风险,其中“翻滚”现象便是一个重要的安全隐患。所谓“翻滚”,指的是 LNG 在储罐中由于温度变化或热传递不均,导致液体内部密度差异,进而引发剧烈对流运动,这种对流运动可能损坏储罐结构,还可能引发泄漏甚至爆炸等。为了有效预防 LNG 储运过程中的“翻滚”事故,技术创新格外重要。

目前,行业内已经开发出多种防翻滚装置,这些装置的设计原理和工作方式各有不同,但核心目的一致——通过物理或化学手段,减少或消除储罐内 LNG 的对流运动,降低翻滚发生的概率。一种常见的防翻滚装置是使用特殊的搅拌器,通过在储罐内部产生有

序的流动,减少温度梯度,从而抑制对流的形成。还有装置通过在储罐内设置隔板或挡板,改变流体的流动路径,减少翻滚的可能性。更有一些先进的技术,通过实时监测储罐内的温度和压力,智能调控防翻滚装置的工作状态,以适应不同的储运条件。

4.3 制定安全管理方案

建立一套完善的安全管理体系,明确安全管理的目标、原则和职责分工。体系应涵盖从 LNG 接收、储存到运输的各个环节,确保安全管理的全面性和系统性制定详细的安全操作规程,对 LNG 储运过程中的关键操作进行规范。规程应包括设备操作、维护保养、应急处置等内容,为员工提供明确的操作指南。

定期开展 LNG 储运过程中的风险评估,识别潜在的安全风险,并制定相应的风险控制措施。通过风险评估,提前发现和预防可能的安全问题。针对可能发生的安全事故,制定详尽的应急预案。预案应包括事故的分类、应急响应流程、资源调配等内容。通过预案的制定,可以提高应对突发事件的能力。建立快速、有效的应急响应机制。一旦发生安全事故,能够迅速启动应急预案,组织救援力量,控制事故影响。同时,要建立事故报告和调查机制,对事故原因进行分析,总结经验教训。加强对员工的安全培训和教育,增强他们的安全意识和操作技能。通过定期的安全培训,使员工熟悉安全规程,掌握应急处置方法。建立安全监督检查机制,定期对 LNG 储运设施进行检查,发现并整改安全隐患。通过监督检查,及时发现和消除安全风险。建立安全信息报告和沟通机制,确保安全信息的畅通。一旦发生安全事故,能够及时上报并通报相关方,为事故处置提供信息支持。

5 结语

总之,文中深入探讨 LNG 制备工艺,揭示了天然气从采集到液化过程中的关键技术,确保了 LNG 产品的质量。同时,还分析了 LNG 的储运方式,提高 LNG 储运的可靠性。通过这些措施,显著提升 LNG 储运的安全性,减少事故发生风险,保障人民生命财产安全。希望通过文中论述,为类似研究提供借鉴。

参考文献:

- [1] 石瑞瑞.天然气的液化工艺和储运安全性[J].化学工程与装备,2022,(05):236-238.
- [2] 肖婉逸,吴婕.天然气储运技术及其应用发展前景[J].化工管理,2021,(10):77-78.

作者简介:

安帅(1992.3-),男,汉,山西省晋中市寿阳县人,大学本科,研究方向:天然气液化工艺。