

天然气液化工艺及储运安全研究

吴 力（新疆博瑞能源有限公司，新疆 库尔勒 841000）

摘 要：针对天然气液化工艺及储存安全问题，本次研究首先对液化天然气优势及发展瓶颈进行分析，对天然气液化工艺技术进行分析，在此基础上，开展液化天然气储运安全研究，为推动我国液化天然气领域的进一步发展奠定基础。研究表明：液化天然气具有多方面的应用优势，液化天然气的优势使其成为当今全球能源市场中备受关注的清洁、高效、安全的能源形式，常见的天然气液化工艺技术包括膨胀机液化技术、级联式液化技术、混合制冷技术、高压射流液化技术等，需要从储罐设计与进液准备、强化存储过程控制以及装车运输操作等角度出发，采取多项有效措施，全面提高液化天然气储运的安全性。

关键词：液化天然气；优势分析；液化工艺；技术分析；储运安全

0 前言

天然气液化是将天然气通过特定的工艺条件转化为液态状态的过程，这一技术的发展极大地提高了天然气的储运效率和跨地区输送能力。但是在天然气液化的复杂工艺中，伴随着高压、低温等极端条件，而且涉及的设备和工艺环节繁多，因此，深入研究储运安全问题是确保生产过程中人员、设备和环境安全的必要手段，安全问题的解决不仅关乎企业的可持续发展，也关系到社会的整体安全^[1]。

本次研究主要是对天然气的液化工艺技术以及储运安全问题分别进行研究，以此推动我国液化天然气领域的进一步发展。

1 液化天然气优势及发展瓶颈分析

1.1 液化天然气优势分析

液化天然气的体积较小，相比于天然气气体，其能源密度更高，这使得液化天然气在储运和运输中更为经济高效，能够更轻松地通过管道、船舶和卡车等方式进行跨地区的输送。天然气在液化状态下，体积大大缩小，方便存储和运输，这样的优势使得液化天然气在远距离输送以及偏远地区供应天然气的情境中具有显著的优越性。液化天然气的物理状态使其便于跨国贸易，液化天然气可以通过船舶轻松运输到全球各地，促进了国际天然气市场的发展和互联互通^[2]。液化天然气相比于煤炭等传统能源具有较低的碳排放，因此在使用液化天然气的过程中，能够降低温室气体的排放，有助于应对气候变化和改善空气质量。液化天然气的运输和储存相对天然气气体更为安全，液化天然气在液化状态下不易燃烧，且液体状态下相对较稳定，减少了与气体形式下相关的安全风险。液化天然气可以用于多种用途，包括发电、工业用途、

运输燃料以及城市燃气供应，这种灵活性使得液化天然气在满足多样化能源需求方面具有广泛的应用前景。尽管液化天然气的生产和液化厂建设需要投资较大，但由于液化天然气在储运和输送中的高效性，其在长期运营中能够带来较高的经济效益。

1.2 液化天然气发展瓶颈分析

液化天然气作为一种清洁、高效的能源形式，虽然在全球能源市场中取得了显著进展，但也面临一些发展瓶颈。建设液化天然气生产和处理设施的成本相对较高，液化天然气工厂和相关设备的建设需要大量资金，这可能成为项目启动的一大障碍，尤其是对于新兴市场或小规模项目而言。液化天然气的发展受到全球能源市场价格波动的影响，价格波动可能导致投资回报期的不确定性，从而降低一些潜在投资者的兴趣。液化天然气的发展直接依赖于天然气市场的健康发展，市场需求的波动、天然气价格的不稳定性以及与其他能源形式的竞争都可能影响液化天然气的发展前景^[3]。尽管液化天然气提高了天然气的运输效率，但其需要建设复杂的液化和再气化设施，以及专门的运输船只，这些都需要庞大的基础设施投资，特别是在一些偏远地区或新兴市场，缺乏相应的基础设施可能限制了液化天然气的应用。液化天然气项目在环境和社会方面面临的压力越来越大，一些项目可能会遇到对环境影响和社会影响的反对，包括对生态系统的影响、土地使用权纠纷以及当地居民的担忧，这可能导致项目推迟或取消。

2 天然气液化工艺技术分析

2.1 膨胀机液化

在天然气液化领域，膨胀机液化方法是一种常见的液化工艺，该方法利用膨胀机将高压天然气通过膨

胀过程冷却至低温,从而达到液化的目的。高压天然气通过膨胀机膨胀时,其内能减少,导致气体温度下降,这个过程被称为焦耳-汤姆孙效应,即气体膨胀时吸收热量,使温度降低,当天然气温度降至临界点以下,压力保持足够的高压状态,就可以使天然气从气态变为液态。在应用该种方法的过程中,高压天然气首先通过一系列的换热器,进行预冷处理,降低气体温度,预冷后的天然气进入膨胀机,通过膨胀降温,使气体温度降至液化点以下,从而形成液态天然气,液态天然气通过分离设备进一步提纯,去除杂质,以获得高纯度的液化天然气^[4]。膨胀机液化方法相对于其他液化工艺来说较为简单,设备结构相对紧凑,运行维护相对容易,由于利用膨胀过程自身产生的冷却效应,相较于一些其他工艺,膨胀机液化方法的能耗较低,可以适用于各种规模的液化天然气项目,从小型站点到大型液态天然气工厂。但是由于需要将天然气提升到高压状态,这就需要相应的压缩机设备,增加了投资和能耗,相较于一些新型的液化方法,膨胀机液化方法的效率较低,对原料气的能量利用不如一些更先进的工艺,该方法对环境温度和湿度等条件较为敏感,可能需要在一定的环境范围内进行操作^[5]。

2.2 级联式液化

级联式液化方法是天然气液化领域中一种常见的工艺,它利用多级膨胀和冷却来实现天然气的液化。级联式液化方法采用多级膨胀,通过连续的膨胀过程将高压天然气逐步冷却至液化点以下,每个膨胀阶段都涉及焦耳-汤姆孙效应,即高压天然气膨胀时吸收热量,使气体温度降低,液化后的天然气可以通过循环系统进行级联循环,以确保最大限度地利用冷量,并提高能效。在使用该种方法的过程中,天然气首先通过压缩机提高压力,高压天然气进入多级预冷器,通过一系列的换热器进行预冷,降低气体温度,预冷后的天然气进入第一级膨胀机,通过膨胀降温,然后进入第二级、第三级等,直至液化点以下,液态天然气经过一系列分离设备,去除杂质,以获得高纯度的液化天然气,液化后的天然气通过级联循环系统,循环利用冷量,提高整个过程的能效。通过多级膨胀和级联循环,级联式液化方法能够更有效地利用冷量,提高整个液化过程的能效。

由于其高能效性,级联式液化方法常被应用于大型 LNG 项目,能够满足大规模生产的需求。可以通过控制不同级别的膨胀机和循环系统来灵活应对不同负

载和工况,提高操作的灵活性。但是由于涉及多级膨胀和级联循环,级联式液化方法的设备较为复杂,需要更高水平的工程设计和维护,相较于一些简化的液化方法,级联式液化方法的投资成本相对较高,这可能是一些小型项目的不利因素,由于采用多级膨胀,对环境条件的要求相对较高,需要在一定的环境范围内进行操作。

2.3 混合制冷

混合制冷方法是一种天然气液化的技术,它通过混合多种冷却剂,以提高液化过程的效率。混合制冷方法利用两种或更多不同的冷却剂,它们在不同的温度下工作,以增强整个液化系统的性能,不同温度的冷却剂形成级联制冷循环,通过热交换和膨胀等过程将高温天然气冷却至液化点以下。在使用该种方法的过程中,天然气首先通过压缩机提高压力,高压天然气进入混合制冷系统,其中两种或多种冷却剂开始发挥作用,通过一系列的预冷设备使气体冷却,天然气进入混合制冷循环,通过混合制冷剂的级联制冷循环,将气体进一步冷却至液化点以下,液态天然气通过分离设备进一步提纯,去除杂质,以获得高纯度的液化天然气。混合制冷方法通过利用不同温度下的冷却剂,实现更高效的制冷过程,提高整个液化系统的能效,由于可以调整不同冷却剂的使用比例,混合制冷方法相对灵活,适用于不同负载和工况,相对于一些传统的液化方法,混合制冷方法通常能够提供更高的能效,减少能源消耗。但是混合制冷系统涉及多种冷却剂和复杂的级联制冷循环,因此系统的设计、运行和维护相对复杂。

2.4 高压射流液化技术

天然气液化的高压射流液化方法是一种通过高速射流对天然气进行冷却和液化的技术。高压射流液化方法利用高速气体射流来冷却天然气,当高压气体通过喷嘴喷射时,由于喷射过程中气体的膨胀和加速,其温度会显著下降,在高速射流过程中,焦耳-汤姆逊效应起到关键作用,高速射流冷却后的天然气在过程中达到液化温度,形成液态天然气。高压射流液化方法能够在较短的时间内实现天然气的高效液化,相对于一些传统的液化方法,高压射流液化方法的系统设计较为简单,可以降低设备成本,这种方法相对适用于小规模液化项目,因为其设计和操作上的灵活性。但是由于液化过程需要压缩和高速射流,这可能导致相对较高的能耗,尽管系统设计相对简单,但由于高

压和高速射流的特性,其操作和维护可能需要较高的技术要求,高压射流液化方法在大规模天然气液化项目中可能面临一些限制,因为其适用范围相对较小。

3 液化天然气储运安全研究

3.1 储罐设计与进液准备

液化天然气储运涉及高压、低温和易燃气体等危险因素,因此需要采取一系列安全措施以确保设备、储罐和运输系统的安全。在储罐设计方面,采用符合高压和低温工作环境的材料,通常是特殊合金或双层钢制储罐。为了防止泄漏,储罐常采用双壁结构,内壁负责储存液化天然气,而外壁用于绝热和保护。配备泄漏检测系统,及时发现并阻止任何潜在泄漏。在储罐周围设置防火系统,包括灭火器、自动喷水系统等。考虑地震因素,采用适当的工程设计和支撑结构,确保储罐在地震中的稳定性。在进液准备方面,使用符合液化天然气的高压和低温特性的专用阀门和连接件。采用自动控制系统,确保进液流程的安全和稳定,避免人为错误。安装紧急切断系统,以便在发生紧急情况时迅速切断液体供应。设置气体和液体泄漏检测系统,及时发现和响应任何泄漏情况。采取措施防止静电积聚,减少火灾和爆炸风险。

3.2 强化存储过程控制

强化存储过程控制是液化天然气(液化天然气)储运过程中确保安全的重要方面。在这一方面,需要采用先进的自动化控制系统,能够监测和控制液化天然气储罐的温度、压力、液位等参数,实施远程监控系统,使操作人员能够通过远程站点实时监测储罐状态,并迅速做出反应。在储罐和相关设备上安装符合规范的安全阀,以防止过压情况,设置压力释放系统,确保在紧急情况下可以迅速减轻压力,安装报警系统,包括声光报警和自动报警,以及及时提醒操作人员并采取适当的措施。在储罐周围设置防火系统,包括灭火器、自动喷水系统等。安装防爆设备,如防爆电器、仪表和设备,以降低火灾和爆炸的风险。对操作人员进行充分的液化天然气储罐操作培训,使其了解储罐系统的工作原理和安全规程,定期进行应急演练,确保操作人员能够正确应对紧急情况,提高应急响应水平。进行环境参数监测,包括气象条件、风向风速等,以及及时了解外部因素对储罐系统的影响。研究和评估新的液化天然气储运技术,包括新型的储罐设计、运输车辆和装卸设备,探索数字化技术和远程监控系统在提高安全性方面的应用。

3.3 装车运输操作

液化天然气的装车运输是涉及高压和低温的复杂过程,需要严格的安全措施来确保人员、设备和环境的安全。使用专用设计和制造的液化天然气运输车辆,确保其能够安全承受高压和低温条件,采用绝缘罐体设计,以减少外部温度对液化天然气的影响,确保在运输过程中维持低温状态,在运输车辆上配置防火和防爆设备,包括灭火器、防爆电器、静电导电装置等。对液化天然气运输的驾驶员进行专业培训,使其了解液化天然气运输的特殊要求和安全措施,培训驾驶员熟悉紧急情况的应对措施,确保他们能够迅速而安全地应对事故情况。定期对液化天然气运输车辆进行检查和维护,确保各部件正常运行,减少事故风险,定期检查和维护运输车辆上的所有安全设备,包括阀门、泄漏检测器、报警系统等,选择合适的运输路线,避免高温区域、人口密集区域和易燃物质附近,以减少运输风险。研究液化天然气装卸设备的安全性能,确保液体和气体的装卸过程能够安全进行,分析过去的装卸事故,总结教训,提高未来操作的安全性。

4 结论

综上所述,天然气是一种重要的清洁能源,其液化过程能够大幅提高储运效率和跨地区输送能力,在对天然气进行液化作业的过程中,常见的技术类型相对较多,不同类型的液化技术都存在一定的应用优势及劣势,因此,需要对液化技术进行合理的选择,同时需要注意其储运的安全性,全面推动我国液化天然气领域的进一步发展。

参考文献:

- [1] 陈廷皓.天然气的液化工艺和储运安全性研究[J].当代化工研究,2022(14):136-138.
- [2] 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.
- [3] 杜赵文.天然气的液化工艺和储运安全性初探[J].化工管理,2020(02):63-64.
- [4] 吴迪.天然气的液化工艺和储运安全性初探[J].当代化工研究,2018(05):75-76.
- [5] 王武昌,魏丁,李玉星等.FLNG小试、中试液化试验的放大性分析[J].油气储运,2018,37(04):462-468.

作者姓名:

吴力(1980-),男,汉族,四川安岳人,大专,工程师,从事液化天然气工厂生产及安全运行工作。