

液化天然气储运技术发展与应用

文安成 (南宁能源发展集团有限责任公司, 广西 南宁 530000)

摘要: 能源战略调整的今天, 液化天然气备受关注。但因其特殊性质, 在储运过程中面临诸多风险。为在生产生活领域合理应用液化天然气, 有关人员应遵循行业规范, 合理应用现代化储运技术。基于此, 本文以液化天然气作为研究对象, 先介绍了液化天然气的特点, 探究了目前较为常见的液化天然气储存技术, 主要为槽车、船舶与管道储运, 说明了在液化天然气储运期间的注意事项, 以期为实际工作提供参考与借鉴。

关键词: 液化天然气; 储运技术; 发展; 应用

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0106-03

Development and Application of LNG Storage and Transportation Technology

Wen Ancheng (Nanning Energy Development Group Co., Ltd., Nanning Guangxi 530000, China)

Abstract: Today, with the adjustment of energy strategy, liquefied natural gas has attracted much attention. However, due to its unique nature, it faces many risks during storage and transportation. In order to apply liquefied natural gas reasonably in production and daily life, relevant personnel should follow industry standards and apply modern storage and transportation technologies reasonably. Based on this, this article takes liquefied natural gas as the research object, first introduces the characteristics of liquefied natural gas, explores the commonly used liquefied natural gas storage technologies, mainly tank trucks, ships, and pipeline storage and transportation, and explains the precautions during liquefied natural gas storage and transportation, in order to provide reference and inspiration for practical work.

Keywords: Liquefied Natural Gas; Storage and Transportation Technology; Development; Application

与传统能源相比, 液化天然气具有清洁性特征。为迎合“双碳”目标, 生产生活领域正大范围应用液化天然气这一能源。虽液化天然气在当前及未来都有较大的开发与应用潜力, 但其储运方面颇具挑战。为实现高效率、安全储运, 有关人员应准确把握液化天然气的特征, 制定科学的储运方案, 有效管理储存与运输全过程, 做到相应风险的早发现、早处理。目前液化天然气储运技术虽有所发展, 但一些技术的缺点明显, 亟需加大研究力度, 构建完善的液化天然气储运技术体系。

1 液化天然气的特点

液化天然气, 也即 LNG, 是一种特殊能源。具体而言, 需利用深度冷冻工艺处理常规天然气, 使其温度达到 -162°C , 从气态变为液态。在此处理过程中, 液态天然气体积较气态天然气小, 贮存与长距离输送都相对便捷。

同时, LNG 属一种清洁燃料, 在可持续发展战略下, 该能源占比逐步增大。根据相关研究, 液化天然气具有以下典型特征:

1.1 LNG 具有体积优势

LNG 的体积较小。根据现有理论分析和实际经验, LNG 与气态天然气相比, 前者体积仅为后者的 1/600。正因这种体积特点, 能为储存与运输创造便捷条件, 保障储运效率, 确保 LNG 可经管道等运送到高需求区域。

1.2 LNG 具有清洁环保的特性

LNG 具有低碳性、清洁性特征。在生产生活中若选用 LNG 燃料, 由于其成分等特征, 在燃烧后产生的颗粒物、硫氧化物等微乎其微, 几乎可忽略不计^[1]。与煤炭与石油等传统能源相比, LNG 可保持更低的碳排放量。基于 LNG 的这一特点, 在能源战略调整的过程中可大力推广该种能源, 比如在交通运输、工业生产等领域均可利用 LNG。

1.3 易燃特征

甲烷易燃, 其危险性并不会因加压液化处理 LNG 而降低。即使在 -160°C 的超低温环境, 甲烷依旧能以 0.3m/s 的速率燃烧。若周围空间开阔, LNG 及其 BOG 将出现燃烧现象, 但几乎不存在爆炸风险。但是, 若 LNG 直接接触火源, 不仅有燃烧现象, 也面临较大的爆炸风险。具体而言, 二者接触的初期阶段, 燃烧速率慢, 但随着时间的延续, 燃烧速率逐步加大, 火焰逐步向周边蔓延, LNG 与周围空气的接触面积呈增大趋势^[2]。在 LNG 燃烧时, 如周边环境较为密闭或者通风不佳、空间有限, 燃烧产物与热量难以有效散逸, 后续 LNG 将与空气混合, 在达到爆炸条件后将出现重大事故, 造成巨大损失。

1.4 低温特征

常压环境中 LNG 的沸点为 -160°C 。所以, 在环境温度 $<160^{\circ}\text{C}$ 时, 天然气为液态, 反之, 常压常温条件下为气态。虽应用低温液化技术可有效存储天然

气,但在后续运输与使用中面临诸多挑战。具体而言,全部运送流程均应保持低温工况,需要应用更为先进的工艺,无形中增大了运输难度与成本。比如在处理 LNG 时,应借助可提供 -160°C 以下低温条件的装置或系统,在此过程中对材质、设备及操作等都有严格规定。就当前情况分析,LNG 储运过程中能维持低温工况的设备主要为 BOG 储罐。该种储罐的特殊结构及材质决定了其在超低温条件下,零部件或储罐本体伴随热胀冷缩现象,极易带来储运风险。

1.5 快相变特征

环境温度在 -160°C 以下时,天然气为液态。然而,天然气很难长期维持液态状态,当与温度较高的周边介质接触后,液态天然气将自动吸收热量,并出现相变现象,成为气态。根据传热原理,当两种温度差异较大的流体直接接触,特别是当二者的沸点差值明显时,低温介质呈升温状态,而高温介质则在接触低温介质后,快速降温并产生大量水蒸气,进而出现类似于向烧红的铁片上泼水的反应过程^[3]。LNG 泄漏时,其与空气中的水蒸气或液态水接触时,将发生上述相变现象。若 LNG 流入水中,因二者之间的温度差值异常大,将在流入的瞬间产生强烈的对流与热交换。一旦此现象发生在空间狭小区域,产生的热量难以快速散失,局部压力明显增大,易引发爆炸问题。

2 液化天然气储运方式分析

2.1 槽车储运

由于液化天然气的特殊性质,在储运过程中对相关设备设施的要求较高。若为短途运输,可优先选择槽车运输方法。虽槽车运输具有一定的便捷性与安全性,但依旧存在以下问题:第一,槽车设计、制造标准严格。在储运之前,有关人员应提前了解对槽车设计与制造的相关要求,进而选择高性能设备及现代化技术等。具体而言,可利用憎水性材料设计隔热层,将其与高真空工艺相结合,打造良好的储运条件,确保储运 LNG 时能保持相对较低的蒸发速率,保障输送效率。第二,科学设计油罐车,确保其动力与机动性等与有关标准相符合。若油罐车的动力与机动性不佳,在复杂路况下难以保持最佳的运行状态,可能导致储运问题。第三,配备深冷保护装置,并引入气液双重回流加料技术,应对 LNG 储运过程中可能发生的冻结与渗漏问题。

2.2 船舶储运

作为清洁能源,LNG 在全球范围内备受关注。无论在我国还是外国,工业等领域都开始尝试推广 LNG 能源。基于 LNG 的体积、环保等优势,其需求量逐年递增。但 LNG 的储运风险高,对设备、材料及工

艺等都有严苛要求。就现有的储运方式分析,船舶运输兼具灵活性与经济性特征,在远距离、大规模 LNG 运输场景中应用优势显著。为凸显船舶储运的优势,有关人员应考虑 LNG 的相关特性,设置结构、材料等较为特殊的运输船。与普通运输船只相比,LNG 运输船设计有低温绝缘系统,同时应用了多种安全防护技术,可在 -162°C 的温度状态下保障 LNG 无相变现象。LNG 天然气体积仅为气态体积的 $1/600$,极高的体积压缩比可提高运输便捷性。与陆地管道运输相比,船舶运输时无需大范围铺设管道,只需要设计专用船舶,即可高效运输,具备多点对多点的运送条件,能促进 LNG 在生产地与供应地的灵活输送。现代 LNG 运输船舶基本设有再液化系统,并应用了双燃料推进技术,能将运输全过程中 LNG 蒸发损失率控制在正常标准,起到节能作用^[4]。所以,当选择船舶储运技术运送 LNG 时,不仅能保障经济效益,还可减少排放量,实现绿色化储运。相较于其他储运方式,船舶储运的规模效应显著,特别是在长距离运输方面,其单位运输成本相对偏低,远低于槽车运输等。虽然如此,船舶储运也面临一定的问题,就是建设船舶时的前期成本高、后续检修与维护工作量大。另外,LNG 对温度与压力条件十分敏感,在运输过程中还应配备专用装置实时监测温度与压力参数。

2.3 管道储运

针对天然气这种能源,管道储运为相对常用的方式。在储运 LNG 时,管道储运的稳定性较为理想,可作为长距离、大规模运输的一大选择。虽管道储运方式的初期投资较低,但因管道所处的环境以及面临的介质特点,在长期使用后局部管道易发生腐蚀现象,加剧 LNG 的泄漏,甚至在特殊场景中易造成火灾与爆炸等事故。从这一角度,为保障管道储运的有效性,有关部门应安排专人提前做好管道的防腐工作,并在运输期间实时监测管道状态。国内在 LNG 储运方面,管道储运方式的应用较多,相应的设备设施、管理体系等日渐完善。比如为应对管道腐蚀现象,有关人员可提前选择耐腐蚀管材,并在日常的工作中定期检查管道情况,及时处理发生腐蚀现象的管道。

3 液化天然气储运技术的应用要点

3.1 储运材料选取

虽液化天然气储运技术相对较多,但无论选择何种技术,都需要选择相对理想的储运材料。事实上,储运材料性能关乎 LNG 的储运安全与效率。具体选择材料时,有关人员应围绕行业对 LNG 的储运规定,优先选择耐腐蚀、坚固的材料。另外,据现有研究,LNG 的最佳储运温度在 -150°C 上下。考虑到这一要求,

储运容器材料必须具有低温稳定性特征,以保障在低温状态下,材料无性质变化等。为保障 LNG 储运操作的规范性,有关人员在选择材料时应从多个方面展开分析,与可靠的材料厂家建立合作关系,并严格检查进场的储运材料。

3.2 储运设施配置

为满足 LNG 的储运要求,有关人员也应考虑行业对储运设备设施配置的特殊规定。在实际的储运过程中,以这些为参照选择合适的储运设施,并做好设施的安裝及日常保养等工作。目前市场上可用于 LNG 储运的设施种类繁多,每种设施都有其特殊的结构及材质特点。有关人员必须把握每一储运设施的设计原理及适用条件,选定最佳的设施组合。比较常用的 LNG 储运设备有存储设施、运输设施、泵送设施。很多情况下面对的储运环境复杂,需要将三种设施有效结合,以形成前后衔接的储运链条,保障 LNG 的高效储存与运输。比如大型常压低温储罐,其保冷性能优越。利用此设施储运 LNG 时,可长时间维持低温状态,将温度控制在合理区间。再比如用于公路或海上运输的 LNG 槽车或专用船舶,在设计过程中应通过特殊构造或材料,提高槽车、船舶的绝热性能,以减小 LNG 运输时的冷量损失。

3.3 漏气隐患监测

液化天然气储运过程中,通过选择先进的储运设备与技术,可保持储运效率与安全。但是,受诸多因素影响,储运过程中极易出现 LNG 泄漏问题。为防止 LNG 泄漏带来的火灾和爆炸等事故,储运全过程中必须严格监测漏气隐患。为实现自动化监测,可在关键点部署漏气监测装置。该装置依赖自动化原理和技术设计,具有强大的数据采集和分析功能。在规范安装此装置后,储运过程中此装置能自动整合速率、流量等数据,识别漏气风险并发送预警信号,提醒岗位人员尽早处理漏气问题^[5]。当前所用的漏气监测设备主要为自动传感器,其可在易燃易爆气体浓度超标的情况下触发报警,采取应急措施。当监测到漏气隐患后,自动化装置可基于深入分析采集的数据,以数据分析结果为依据确定漏气位置与原因等,采取有效的处理措施。

4 液化天然气存储技术发展趋势

4.1 FLNG 发展趋势

技术不断进步的过程中,液化天然气储运过程中的技术类型越发多样,其中,FLNG 相对具有代表性。事实上,FLNG 为浮式液化天然气生产储卸装置,其在海上运输方面的优势显著。近年来随着国家对 LNG 储运工作的日渐重视,FLNG 的自主研发取得了一定

成效。但在船体设计、油气分离、液化系统、存储系统等设计方面依旧面临诸多问题。为真正在 LNG 储运中大范围应用 FLNG 技术,主管部门应与龙头企业等合作,共同出台与我国海域情况高度适配的 FLNG 体系,为实际工作提供制度框架^[6]。

4.2 LNG 运输船发展趋势

近年来我国在液化天然气运输船舶的研发与制造方面已位居世界前列。但同样也面临一定的问题,如在核心技术指标方面仍有上升空间。以第五代液化天然气船为例,普遍为基于 GTT 薄膜型液货舱方案。该方法可有效降低 LNG 运输过程中的自然损失率。虽此技术处于全球领先水平,但与发达国家相比尚存在一定差距。未来我国仍需聚焦于液货舱设计,力求通过创新工艺形式、应用新型材料提升其综合性能。

4.3 LNG 储罐发展趋势

在 LNG 的储运方面,储罐技术至关重要。市场上虽出现了很多专用储罐,但这些储罐都有各自的特点。随着行业的持续发展,有关人员应根据 LNG 储运的新要求,加大研发力度,研究超大储罐、新型储罐,并同步创新储罐结构与材料。

5 结束语

综上所述,LNG 储运难度大、风险高。为在新时期有效储存与利用 LNG,提高该类能源的综合利用率,凸显其清洁性和低碳性优势,有关人员应持续以 LNG 储运作为核心任务,采用新型储运设备与技术。未来随着技术的进步,液化天然气的储运工作中有关人员还应基于现状,尝试新材料、新工艺,力求形成先进的储运技术体系,并严格管控储运全过程。

参考文献:

- [1] 李晓.液化天然气储运技术发展与应用现状分析[J].当代化工研究,2025(07):16-18.
- [2] 魏洁,乔小伟.液化天然气储运安全技术和管理措施[J].山东化工,2024,53(01):235-237.
- [3] 汪世涛.液化天然气储运及其接收站建设[J].化工管理,2023(21):166-168.
- [4] 赵玖超,何倩,嵇斌华,高炳伟.液化天然气储运风险因素及策略[J].化工管理,2023(15):105-107.
- [5] 韩志国.液化天然气的储运问题与安全技术管理[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(21):82-84.
- [6] 张宏伟,刘志远.液化天然气储运安全风险评价与防控技术研究进展[J].安全与环境工程,2024,31(3):45-52.

作者简介:

文安成(1989-),男,汉族,广西桂林人,本科,初级工程师,研究方向:企业管理。