

天然气与LNG的储运技术研究进展

段晓涛 郑 华 杨成功 王浩然 梅春武
驻马店市天然气储运有限公司 河南 驻马店 463000

摘 要：在全球能源转型的大背景下，天然气因其清洁环保和高效能特点正逐渐成为主导能源之一。液化天然气（LNG）作为便于储运的形式，对于满足日益增长的能源需求具有关键作用。本文深入探讨了天然气与LNG储运技术的最新研究进展，包括超临界天然气储运技术、水合物储运技术、压缩天然气储运技术以及LNG储运技术的细节、挑战及前景。

关键词：天然气；液化天然气（LNG）；储运技术；能源转型

引言

随着全球对清洁能源的需求不断增长，天然气因其低碳、环保和高效的特点而受到青睐。然而，天然气的广泛应用受限于其储运难题。传统的LNG储运技术，尽管技术成熟，但仍面临高成本、高能耗及安全风险等挑战。因此，探索更加高效、安全的储运技术成为当前研究的热点。

1 天然气储运技术研究进展

1.1 超临界天然气储运技术

超临界天然气储运技术是近年来备受关注的前沿技术，其核心理念在于利用天然气在超临界状态下的独特物理性质，实现更为高效和安全的储运。超临界状态，作为物质存在的一种特殊形态，位于气态与液态之间的临界区域，兼具两者的部分性质，但又与之截然不同。在这一状态下，天然气的密度接近于液体，而扩散系数和粘度则接近于气体，这使得超临界天然气在储运过程中具有得天独厚的优势。目前，针对超临界天然气储运技术的研究主要集中在两大方面：新型材料的开发和储运过程中温度、压力控制策略的优化。在材料研究上，科学家们正致力于寻找能够承受极端高压和高温条件的新型材料，以确保储运容器的安全性和稳定性。这些材料不仅需要具备出色的机械性能，还需有良好的耐腐蚀性和热稳定性，以应对超临界状态下天然气的强腐蚀性和高温环境。同时，在储运过程中的温度和压力控制也是研究的重点。超临界天然气对温度和压力的变化极为敏感，微小的波动都可能引发相态的转变，进而影响储运效率甚至安全^[1]。因此，研究者们正在探索精确的温度和压力控制系统，以实现储运过程中的平稳和高效。这些系统需要能够实时监测和调整储运容器内的温度和压力，确保其始终维持在超临界状态所需的最佳范围内。此外，超临界天然气储运技术的经济性也是研究者们关

注的焦点。尽管这一技术在储运效率和安全性方面具有显著优势，但若成本过高，则难以在实际应用中推广。因此，如何在保证技术性能的同时降低生产成本，是当前研究的一个重要方向。

1.2 水合物储运技术

天然气水合物储运技术，凭借其高储存密度和良好的稳定性，在天然气储运领域占据了一席之地。天然气水合物，又称“可燃冰”，是在特定的低温高压条件下，由天然气与水分子结合形成的一种固态物质。由于水合物能够在相对较小的体积内储存大量的天然气，因此被认为是一种极具潜力的储运方式。当前，针对天然气水合物储运技术的研究主要聚焦于几个方面：提高水合物的生成速度和效率、探索更为环保的制备工艺，以及确保水合物在储运过程中的稳定性和安全性。在提高水合物生成速度和效率方面，研究者们正在尝试不同的催化剂和添加剂，以加速天然气与水分子之间的反应。同时，他们还在优化反应条件，如温度、压力和天然气组成，以寻求最佳的水合物生成环境。这些研究不仅有助于缩短水合物的生成周期，还能提高储存效率，从而降低成本。在探索环保制备工艺方面，科学家们致力于开发低能耗、低排放的水合物制备技术。这包括利用可再生能源进行水合物生成，以及优化工艺流程以减少废物和污染物的产生。这些努力不仅有助于减轻环境压力，还能提升水合物储运技术的可持续性。至于水合物在储运过程中的稳定性和安全性问题，这是研究者们关注的另一个重点。由于水合物对温度和压力的变化极为敏感，因此在储运过程中需要严格控制这些条件，以防止水合物的分解和天然气的泄漏。此外，科学家们还在研究新型储运容器和监控系统，以确保水合物在运输过程中的安全稳定。

1.3 压缩天然气储运技术

压缩天然气 (Compressed Natural Gas, 简称CNG) 储运技术, 是一种通过高压手段将天然气压缩至储气容器中, 以便更高效、安全地储存和运输的技术。近年来, 随着材料科学的飞速发展和压缩机技术的不断革新, CNG储运技术在效率和安全性方面均取得了显著的进步。在CNG储运技术中, 储气瓶是核心组件, 其性能直接影响到储运的效率和安全性。传统的储气瓶由于材质和技术限制, 往往存在着重量大、耐压能力有限等问题。然而, 随着新型材料的不断涌现, 如高强度复合材料、碳纤维等, 研究者们开始尝试将这些材料应用于储气瓶的制造中。这些新型材料不仅具有更高的强度和耐压能力, 而且重量更轻, 从而有效提升了储气瓶的性能。除了储气瓶的改进, 压缩和解压工艺的优化也是当前研究的重点。传统的压缩工艺往往存在着能耗高、效率低等问题。为了解决这些问题, 研究者们开始探索新型的压缩技术, 如多级压缩、等温压缩等。这些新技术不仅能够降低压缩过程中的能耗, 还能提高压缩效率, 从而进一步提升CNG储运技术的经济性^[2]。在解压工艺方面, 研究者们也在寻求更为高效和安全的方法。传统的解压过程往往伴随着大量的能量损失和安全隐患。因此, 研究者们开始尝试采用新型的解压技术, 如逐级解压、控制解压速率等, 以确保解压过程的安全性和效率。此外, 随着智能化技术的不断发展, CNG储运技术的智能化管理也成为了一个新的研究方向。通过引入先进的传感器、控制系统和数据分析技术, 可以实现对CNG储运过程的实时监控和优化管理, 从而进一步提高储运效率和安全性。

2 LNG 储运技术研究进展

2.1 LNG储运技术的现状与挑战

液化天然气 (LNG) 储运技术已经在全球能源领域占据了重要地位, 其高效的能量密度和相对便于储运的特性使得它在天然气输送中具有显著优势。然而, LNG储运技术仍然面临着一系列挑战: (1) 高昂的液化成本: 将天然气液化需要消耗大量的能量, 这增加了其生产成本。据估算, 液化过程约消耗天然气总能量的8-12%, 这使得LNG的总体成本相对较高。(2) 复杂的储运设备: LNG需要在极低的温度下储存和运输 (-162°C), 这就要求储运设备能够承受极端的低温条件, 并保持良好的绝热性能。此外, 设备的制造和维护成本也相对较高。(3) 潜在的安全风险: 由于LNG的低温特性和易燃易爆的性质, 其储运过程中存在一定的安全风险。一旦发生泄漏或事故, 后果可能十分严重^[3]。(4) 运输过程中的蒸发损失: 尽管LNG的储存效率相对

较高, 但在长时间的运输和储存过程中, 仍然会有一定量的天然气因蒸发而损失, 这不仅降低了储运效率, 还可能对环境造成影响。

2.2 LNG储运技术的发展与创新

2.2.1 开发新型低温材料

在液化天然气 (LNG) 储运领域, 低温材料的选择直接关系到储运设备的性能和成本。近年来, 高锰钢以其独特的性能和成本优势, 逐渐成为该领域的研究热点。高锰钢, 以其高锰含量 (通常在22-25%之间) 而著称, 这种特殊的合金配比赋予了它卓越的低温韧性。与传统的9Ni钢相比, 高锰钢在保持高强度性能的同时, 更展现出优异的低温延展性, 这对于需要在 -162°C 极低温环境下工作的LNG储运设备来说至关重要。除了性能上的优势, 高锰钢的另一大亮点是其成本优势。由于高锰钢不含价格昂贵的镍元素, 这使得它在原材料成本上显著低于9Ni钢。在当前全球原材料价格波动频繁的背景下, 高锰钢的这一优势无疑为LNG储运行业带来了巨大的经济效益。高锰钢的应用不仅有望降低LNG储运设备的制造成本, 更重要的是, 它推动了行业的技术创新和材料升级。随着高锰钢生产工艺的不断完善和优化, 其在LNG储运领域的应用将更加广泛。从大型LNG储罐到运输船舶, 高锰钢正逐步替代传统材料, 成为新一代LNG储运设备的首选材料。

2.2.2 优化储运容器的设计

在液化天然气 (LNG) 储运领域, 优化储运容器的设计是提高储运效率和安全性的关键。这一优化过程主要体现在两个方面: 采用高效绝热材料和进行结构优化。首先, 采用高效绝热材料是减少LNG蒸发损失的重要手段。研究者们正在积极探索新型高效绝热材料, 其中真空绝热板因其卓越的绝热性能而备受关注。真空绝热板由芯材与真空保护表层复合而成, 它有效地阻止了热传导、对流和辐射三种热传递方式, 从而大幅降低了热量传递效率。在LNG储运容器中, 使用真空绝热板可以显著减少外界热量向容器内部的传递, 进而降低LNG的蒸发速率, 减少损失。其次, 结构优化也是提高储运容器性能的关键环节。这包括对容器内胆厚度的增加和优化支撑结构等。增加内胆厚度不仅可以提高容器的结构强度, 还能增强其抵抗外部冲击的能力, 从而提升安全性。同时, 优化支撑结构, 如采用更合理的支撑布局 and 连接方式, 可以进一步提高容器的整体稳定性^[4]。此外, 合理的结构设计还能有效减少热桥效应。热桥是热量传递的捷径, 通过优化结构设计, 如采用断桥处理或增加热阻材料等方式, 可以有效阻断或减少热桥的形

成,从而进一步降低LNG的蒸发损失。

2.2.3 研究先进的液化技术

在液化天然气(LNG)的生产过程中,液化技术的选择直接影响到生产效率和能源消耗。目前,研究者们正在深入研究两种先进的液化技术:混合制冷剂循环技术和预冷技术。混合制冷剂循环技术是一种创新的天然气液化方法。它通过使用多种制冷剂的混合物,根据不同的温度区间选择最合适的制冷剂,以达到降低液化过程中能耗的目的。这种技术的关键在于制冷剂的配比和循环系统的设计。通过精确控制不同制冷剂的比例和循环流程,可以实现不同温度阶段的高效制冷,从而提高整体液化效率。此外,混合制冷剂循环技术还具有灵活性和可扩展性,可以根据实际需要调整制冷剂配比和循环系统参数,以适应不同规模和需求的LNG生产。预冷技术则是在天然气进入液化装置之前,先通过特定的冷却系统将其预冷到接近液化温度。这一步骤可以显著减少液化过程中的能耗,因为预冷后的天然气需要更少的能量就能达到液化状态。预冷技术的实施方式多样,可以利用自然冷源如深海水或高山冷空气,也可以利用工业余冷进行热回收。这种技术的节能环保优势在于,它不仅能降低能源消耗,还能减少温室气体排放,对推动LNG生产的绿色可持续发展具有重要意义。

2.2.4 智能化储运管理系统

在液化天然气(LNG)储运领域,智能化储运管理系统正逐渐成为提升储运效率和安全性的关键工具。这一系统通过集成实时监测、数据分析与自动化控制等先进技术,为LNG储运提供了全方位、智能化的管理解决方案。实时监测与数据分析是智能化储运管理系统的核心功能之一。通过在储运设备上安装高精度传感器和监控系统,系统能够实时捕捉LNG储运过程中的关键参数,如温度、压力和液位等。这些数据不仅反映了储运设备的实时状态,还能揭示潜在的安全风险。借助云平台强大的计算能力,系统可以对这些数据进行实时分

析,准确识别异常情况,并及时向操作人员发出预警。这种即时的数据反馈和分析机制,大大增强了操作人员对储运过程的掌控能力,有助于及时应对各种突发情况,确保储运安全。自动化控制系统则是智能化储运管理系统的另一大亮点。该系统通过先进的控制算法和自动化设备,能够自动调节储运容器的温度、压力等关键参数,确保储运过程始终保持在安全稳定的范围内。与此同时,自动化控制系统还能有效减少人为操作失误。在传统的储运管理中,人为因素往往是导致安全事故的重要原因之一。而自动化控制系统的引入,不仅降低了对操作人员的依赖,还通过精确的参数控制和自动调节,显著提高了储运效率 and 安全性。智能化储运管理系统通过实时监测、数据分析与自动化控制等功能的有机结合,为LNG储运行业带来了革命性的变革。它不仅提升了储运效率 and 安全性,还为行业的可持续发展注入了强大的动力。随着技术的不断进步和应用范围的扩大,智能化储运管理系统必将在未来发挥更加重要的作用。

结语

天然气与LNG的储运技术是确保天然气广泛应用的关键环节。当前,多种新型储运技术正在研发中,旨在提高储运效率、降低成本并增强安全性。这些技术的成功应用将为全球能源结构的优化和清洁能源的推广做出重要贡献。随着科技的不断创新和进步,我们有理由相信,未来的天然气储运技术将更加高效、安全和环保。

参考文献

- [1]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.
- [2]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
- [3]赵玖超,何倩,嵇斌华,等.液化天然气储运风险因素及策略[J].化工管理,2023,(15):105-107.
- [4]夏功科.LNG储运的安全技术及管理措施[J].化工设计通讯,2022,48(09):142-144.