

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℃ 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→冷剂压缩与制冷液化→LNG 储存→LNG 装车。

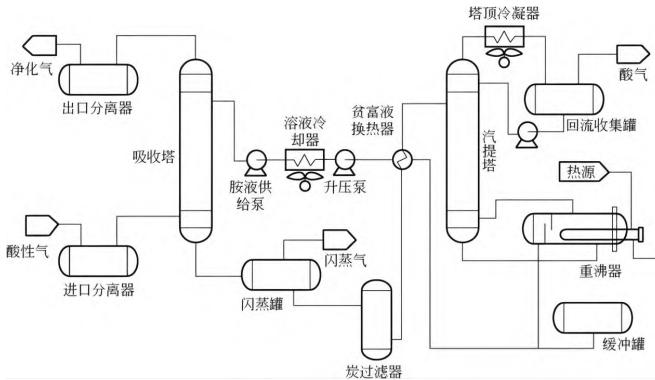


图 1 液化天然气制备流程图

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，在冷箱中与经冷剂压缩机压缩后的混合冷剂进行换热。这一过程中原料气热量被冷剂吸收，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商的依赖。

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工作，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。针对可能产生的安全事故，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故的能力。建立快速、有效的事故响应机制。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，减少事故发生的风险，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。