

液化天然气储运的安全技术及管理要点探究

李旭光（河北省天然气有限责任公司沙河分公司，河北 邢台 054000）

摘要：液化天然气具备易燃易爆特性，在储存或运输过程中如果选择的方式不合理，有可能会出现安全事故，造成严重的人员伤亡和经济损失。本文以液化天然气储运活动为研究内容，从储运安全层面出发，探索液化天然气储运安全技术的实践应用方法，并提出液化天然气储运过程安全管理要点。旨在全程监督管理液化天然气储运流程，提升储运安全性，充分发挥液化天然气的应用优势。

关键词：液化天然气储运；安全技术；管理要点

0 引言

液化天然气简称为 LNG，作为一类新型能源，其易燃易爆、低温伤害的特性，使得 LNG 储运活动本身具备极高的风险系数，一旦储运方式不当、储运容器破损、作业操作不规范，都可能出现安全事故，造成不可挽回的严重损失。为此，要提高 LNG 储运安全技术的应用水平，保障储运流程安全管理水平，确保液化天然气储运的安全。

1 液化天然气储运安全技术的应用要点

1.1 容器安全检查

确定 LNG 储运方式后，工作人员必须全面检查储运容器的工作性能和结构情况，及时修补破损部位，或更换全新容器，确保运输途中出现质量问题以及受到外力碰撞出现液化天然气泄露、爆炸等安全事故。以 LNG 铁路罐式装箱储运方式为例，核对确认罐体质量、内部容积、隔热层厚度、外形尺寸、筒体封头壁厚、设计压力、外部校核压力、气密性试验压力在内的基本参数，判断容器材质、型号是否准确无误。随后，进一步检查结构安全，检查内容包括罐体材质、紧急切断装置、框架抗冲击能力、安全附件等。

例如，对于罐体材质，液化天然气运输距离较远，中途跨越多个地区，各地区气候温差存在较差差异，在极限情况下的温差达到 90℃，要求罐体必须具备良好的耐热性能，不会因运输条件变化而形成温度裂缝，框架、外罐体、加强圈等部件的适用最低温度保持在 -40℃ 水准，内罐体与加热管部件的适用最低温度保持在 -196℃ 水准。

对于紧急切断装置，以液相孔、气相孔出口作为安装位置，检查安装位置、装置型号与结构完好程度，运输途中因车辆损坏等突发情况导致内部介质泄露时，工作人员立即启动紧急切断装置，阻止气液介质继续向外流动^[1]。

1.2 隔热防护

液化天然气具备低沸点特性，储运期间长期处于沸腾状态，这对储运容器隔热性能有很高的要求，如果容器存在破损、隔热层厚度不达标的问题，会导致容器内部温度超出规定值，出现液化天然气汽化现象，持续释放甲烷等气体，气体质量分数超过 5% 且接触火源时，将发生爆炸事故。为此，必须对储运容器进行隔热改造，当前主要采取普通隔热、真空隔热两种方式。普通隔热是在容器外部包裹隔热材料，使用密度较小的隔热材料，包括珍珠岩、泡沫板，增加隔热层厚度，利用外部隔热材料，阻隔外部热量传导至容器内部，双层结构与多层结构储运容器的隔热性能较为显著，满足液化天然气低温存储要求。真空隔热是将容器内部打造成真空密闭空间，结束液化天然气填充作业后，抽出容器内部空气，通过弱化气体热传导效应来时限隔热目标^[2]。为预防极端情况出现，当前主要采取普通隔热 + 真空隔热的复合隔热技术，储运期间出现外部隔热层破损、真空失效单一问题，液化天然气温度不会发生变化。

1.3 控制灌装量

在温度影响下，气体分子间隙发生变化，温度超出一定标准后会打破气液平衡，天然气从液体转换为气体，分子距离增加、体积增大。如果忽视温度、体积相对关系，容器内完全灌满液化天然气，储运期间可能出现爆炸事故。简单来讲，温度和体系呈现正比例关系，温度越高，体积越大。对此，在液化天然气填充步骤，工作人员必须根据所掌握基本信息，如液化天然气密度、标识容积等，计算最佳灌装量，全程监测灌装过程，要求实际罐装量和计算结果基本一致，罐装量超标会提高风险系数，灌装量不达标则会造成资源浪费、提高平均储运成本。

同时，采取陆运方式时，还应比对分析计算结果

和车辆标称，避免载重超标而形成交通事故安全隐患。灌装量计算结果超出车辆标称时，按照标记值来灌装液化天然气。灌装量计算结果小于车辆标称时，直接按照计算结果来灌装液化天然气。

1.4 储运状态监测

液化天然气储运是一项长期性、综合性活动，长期性体现在总体储运周期时间较长，综合性体现在外部环境复杂和影响因素众多。储运过程中，难免遇到各类突发情况，如容器破损、实际灌装量有误、隔热层失效等，如果放任问题存在，或是问题处理不及时，随着时间推移，极易演变成爆炸、液化天然气泄露等安全事故。

对此，必须搭建具备极高自动化程度的状态监测系统，容器周边分散部署多种类传感器，全程监测液化天然气储存状态和运输情况，精准察觉到安全隐患，并在第一时间向工作人员发送报警信号。状态监测技术落地应用期间，合理划定监测范围，做好监测装置选型工作，制定专项监测方案。例如，在罐体温度监测方案，以罐体内部液化天然气实时温度作为监测对象，必须配备防爆工业级温度传感器，测量范围超过-170℃，具体使用到WZ/P-EFBJ1Z2L5P1型温度传感器，标准量程为-200℃到500℃，实际响应时间不超过3s，防护级别为IP65，采取法兰连接方式部署在罐体内部。而在罐体压力监测方案，考虑到液化天然气贮存温度普遍在-162℃，常规型号压力传感器最低工作温度仅为-50℃，传感器直接接触液化天然气，将在低温影响下出现薄膜折断、传感器损坏问题，禁止采取常规方式在罐体内部安装传感器，而是利用导管，把液相压力转变为气相压力，再进行测量^[3]。

1.5 标准化卸车供气

根据同类项目案例分析，液化天然气在卸车、供气步骤的危险系数相对最高，也是爆炸、泄露等安全事故的高发环节，问题的根源在于操作流程繁琐，出现某一项错误操作、违规行为，都会形成安全隐患。因此，必须采取标准化装卸模式，将液化天然气装卸过程分解为大量技术细节，明确作业标准要求，全程记录、观察装卸过程，及时纠正错误操作行为，通过提高装卸作业标准化程度来降低风险系数。

例如，在液化天然气卸车环节，当前以公路槽车、罐式集装箱作为储运容器，抵达目的地后，必须使用配套空温升压气化器对槽罐进行升压处理，或是利用储配站内卸车增压气化器对集装箱进行升压，直至具

备足够压差后，再把容器内液化天然气顺利卸入储罐，使用气相管道来回收残存气态天然气。卸车过程中，如果容器内部温度低于储罐内部温度，容器内部压力有所增加，需要把低温状态下的液化天然气经由上进液管输送到储罐内部，气体状态天然气存在冷却过程，重新转换为液体，以此来降低容器压力。而在容器内部温度高于储罐内部温度时，切换到下进液模式，避免高温液化天然气在储罐内部出现蒸发现象。

同时，提前对管道采取预冷措施，严格控制阀门开关时间，确保不会出现管道受损问题。而在液化天然气供气环节，选择压力当作推动力，把液化天然气持续推送到空温式气化器，内部出现气化现象，最终输送给客户使用，中途不断补充气体，尽量维持稳定压力状态，如果推动力减小，会同步降低液化天然气流出速度，从实操层面来看，部署自动增压阀并设定标准值，储罐压力低于、超出标准值时，自动开启、关闭增压阀。同时，还应考虑到环境气温对气化效率造成的影响，夏季气化器出口温度保持在15℃左右，冬季气化器出口温度下降到0℃以下，冬季额外增设加热步骤，使用水浴式加热器或是其他加热设备，把气化状态的天然气温度加热到10℃以上，避免低温天然气造成管道阀门爆裂问题^[4]。

2 液化天然气储运安全管理要点

2.1 风险识别

液化天然气储运安全管理作为一项风险管理活动，通过识别风险隐患和采取专项措施预防风险事件发生，可以避免储运期间出现爆炸等安全事故的关键。风险识别作为安全管理活动的首要步骤，直接决定着管理方案的准确性和可行性。管理人员要收集、整理和分析国内外液化天然气储运案例与安全事故调查报告，深入分析总结各类型安全事故的形成原因。结合本项目情况，编制风险清单，列举潜在的风险隐患，以规避清单风险作为安全管理重心。通常情况下，液化天然气储运风险形成原因包括操作不规范、设备容器破损、低温储罐内壁不严、事故状态下所排放天然气接触明火、卸入储罐期间进入和已有天然气成分温度不相容。

同时，也可从安全事故类型角度入手，总结归纳翻滚、泄露、爆炸等安全事故的客观发展规律。以翻滚事故为例，具体分为两种情况，液化天然气长期储存期间，较轻组分率先蒸发，自发出现翻滚现象，或出现在卸车环节，储罐内部原本充入一部分液化天然

气，原有、新充入液化天然气的温度及密度存在差别，进而出现翻滚现象，翻滚时间和翻滚量取决于密度差值。

2.2 风险评价

风险评价也被称为安全性评价，以保证液化天然气储运安全为目的，基于定性定量评估方法，系统性找出液化天然气储运期间存在的全部有害因素和危险隐患。客观评估安全风险出现可能性与危害后果，评定危险程度并提出可行性对策，从而降低安全事故发生概率，控制事故实际受损程度。在风险评价环节，重点掌握确认危险性、评估危险性两方面的管理要点。

2.2.1 确认危险性

液化天然气储运为先主要分为两类。一类是能量源、能量载体、储存容器出现问题而引发的安全事故，如容器破损导致内部液化天然气泄露、气化与接触明火爆炸。另一类则是所采取的限制性措施失效，导致液化天然气储运条件发生变化，直接暴露在复杂环境中，包括材料缺陷、设计缺陷和违规操作行为。根据实际情况来看，第二类危险源是首类危险源引起安全事故的前提条件，决定着安全事故发生概率^[5]。

2.2.2 评价危险性

管理人员按顺序逐一评估安全事故易发性和严重程度，根据评估结果，客观反映风险危害程度。对于安全事故易发性，把事故影响因素列为评价指标，逐一设定各项指标的权重分值，结合液化天然气储运条件和实际储运情况，精准估算安全事故发生概率。评价指标包括高压系数、泄露系数、物料处理系数、明火系数、电火花系数、燃烧范围操作系数、静电系数等，如高压系数代表储罐操作压力，泄露系数代表法兰等部位是否存在泄露情况与实际泄露程度，物料处理系数代表天然气不纯或是混合不均。对于事故严重程度，应从人员伤亡、财产损失、死亡半径、重伤半径、轻伤半径等多维度视角出发，科学估算各项危险系数的严重程度，集中管理资源，重点防治严重程度较高的风险问题。

2.3 风险控制

液化天然气储运风险隐患多，安全管理范围要全覆盖全部风险隐患，才能从根源上预防安全事故发生，确保液化天然气储运安全，保证既定储运计划顺利执行。对此，管理人员应把风险清单、评估报告作为重要依据，围绕实际存在、可能出现的风险隐患，针对性采取多项控制措施，包括机械设备安全预防、

翻滚事件预防、操作控制。例如，对于机械设备安全预防措施，重点预防容器失效、阀门泄露、管道损坏、安全阀失效、控制系统故障等问题发生。

一方面，加快机械设备升级改造步伐，如配备双层构造储罐，储罐内壁与外壁分别使用镍钢材质与钢筋砼材质，在管架、管道等配件表面包裹一层耐火与耐冷液体溢出材料，适当增加焊接点、接口等薄弱位置的厚度。

另一方面，液化天然气装卸前后与运输期间，重复多次检查容器和配套设备的外观质量、使用状态是否达标，针对性开展维护保养工作，如果发现异常情况，及时暂停储运过程，直至问题得到妥善解决。

此外，还应提前制定面对安全事故的应急处置预案，安全事故实质发生后，按照预案内容，有序开展应急处置与救灾抢险活动，最大限度的降低经济损失。此外，应不定期组织开展安全演练活动，假定出现液化天然气泄露、爆炸等安全事故，在管理人员指挥下，按部就班的执行预案内容，通过演练活动，既可以帮助工作人员积累面对紧急情况的处理经验，也可以论证应急处置预案是否存在优化改进空间，积极完善在演练中暴露的问题，提高应急处理预案的可行性。

3 结语

综上所述，建立健全的安全储运体系是保障液化天然气使用安全的重要前提，同时，也是满足我国能源供应多元化需求的必然路径。工作人员应把提高储运安全技术应用水准和安全管理水平作为实现方式，全面掌握技术要点和管理要点。采取容器检查、隔热防护等多项措施，科学制定储运安全管理计划，最大限度的消除液化天然气储运期间的风险隐患与不可控因素。

参考文献：

- [1] 于鑫彤 . 液化天然气罐式集装箱铁路储运安全研究 [D]. 上海应用技术大学 ,2023.
- [2] 杨小辉 , 薛文瑞 . 探讨液化天然气安全管理中存在的问题及对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2023,43(14):95-97.
- [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] 姜超 . 液化天然气储运的安全技术及管理要点分析 [J]. 石化技术 ,2020,27(11):274-275.
- [5] 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.