

LNG 加气站风险因素及防护措施概述

Overview of risk factors and protection measures of LNG filling station

贾绪平 (山东实华天然气有限公司, 山东 青岛 266000)

Jia Xuping(Shandong Shihua Natural Gas Co., Ltd ,Shandong Qingdao 266000)

摘要: LNG 是清洁、高效的能源, 近年来, 伴随我国低碳经济、节能减排的发展需求, LNG 工业正在飞速发展, LNG 加气站的建设规模也不断扩大。由于 LNG 本身的危险特性以及、操作工况的波动, 存在着很多安全隐患, 影响着生产运行的本质安全。本文从 LNG 特性、加气工艺流程和生产运行经验基础上, 对加气站内的危险因素进行分析, 根据风险出现的原因, 提出相应的防护措施, 降低安全风险出现的可能性, 结论可为今后 LNG 加气站的安全运行提供参考。

关键词: LNG; 加气站; 风险; 防护措施

Abstract: LNG is clean and efficient energy. In recent years, with the low-carbon economy, energy conservation and emission reduction, the LNG industry is developing rapidly, and the construction scale of LNG gas station is expanding. Due to the dangerous characteristics of LNG and the fluctuation of operating conditions, there are some security risks that affect the essential safety of production and operation. Based on LNG characteristics, process flow and production operation experience, analyzes the risk factors in the gas filling station. According to the causes, protective measures are proposed to reduce the possibility of safety risks. The conclusion can provide reference for the safe operation of LNG filling stations in the future.

Key Words: LNG; Filling stations; Risk factors; Protective measures

LNG 是一种非常理想的环保型清洁燃料, 其纯度高于天然气, 是以甲烷为主要组分的低温、液态混合物, 其体积约为气态时的 1/600, 具有便于经济可靠运输、储存效率高、生产使用安全、有利于环境保护等特点。LNG 用途广泛, 主要应用于城市燃料、车用燃料、发电燃料、化工原料、蓄冷及冷能利用等。LNG 工业对调整能源结构、低碳经济、节能减排、绿色发展、改善环境、实现人与自然的和谐发展具有十分重要的意义^[1]。为了保证加气站气源稳定供应的要求, LNG 加气站也在快速发展建设。但是由于 LNG 的危险特性和人员操作等不安全性, LNG 加气站存在着一些安全隐患, 本文对 LNG 加气站的运行进行安全风险分析, 对保障 LNG 加气站平稳运作有着极为重要的意义。

1 LNG 加气站工艺流程

LNG 加气站是供应液化天然气 LNG 的加注站, 共分四种类型, 一般将其分成为: 撬装式加气站,

标准式加气站, L-CNG 加气站, 移动式撬装加气站。LNG 加气站的工艺流程一般包括四个流程: 卸车流程、调压流程、加气流程以及一个泄压流程。一般纯 LNG 加气站由: LNG 储罐, 泵撬及潜液泵, 储罐增压汽化器、卸车汽化器、EAG 加热器 (工艺流程不同, 这三个汽化器也会有相应的变化), 加液机等组成^[2]。

卸车流程主要是指将 LNG 集装箱或者槽车运送来的 LNG 转移至加气站内 LNG 储罐的过程。主要有三种方式: 卸车增压器卸车、潜液式低温泵卸车、增压器和泵联合卸车^[3]。在 LNG 卸车的过程中, 要及时对一些多余的气体进行排放, 才能防止储罐中压力的骤升, 防止卸车效率不高的问题。

调压流程主要是利用增压装置对储罐内的 LNG 进行增压。升压方式也有 3 种: 通过储罐自增压装置升压、通过低温泵进行升压、通过储罐压力调节器与泵低速循环联合使用进行升压。

加气流程是通过 LNG 泵将储罐中的饱和 LNG 经由泵加压后经过加气枪给 LNG 汽车加气，最高的加气压力可达 1.6MPa，通过液相软管对 LNG 汽车气瓶进行加液，由气相软管对气瓶中的 BOG 进行回收，以保证气瓶的加气速度和正常的工作压力^[4]。在加气站中，在进行加气操作之前，应该确保增压装置的温度的升高，从而实现 LNG 气体的饱和。在储罐中，LNG 气体饱和后，才能完善汽车的加气操作。

泄压流程是指卸车、加气过程中，储罐内的压力会随着 BOG 产生而增大，为保障安全运行，需打开相关的自动减压阀释放蒸汽。在给汽车加气的过程中，应该确保加气站日常操作的正常化，随着大量的气体的产生，在储罐中会形成比较大的压力。为了降低储罐的压力，提高储罐的安全性，工作人员在操作的过程中应该确保阀门是打开的，将储罐中多余的蒸汽放出，从而起到减压的效果。通过对目前的情况分析来看，最有效的方式就是放空。但是这类操作也会带来一定的负面影响，在操作的过程中会产生资源的浪费，降低经济效益，而且如果不注意会产生一定的安全问题。

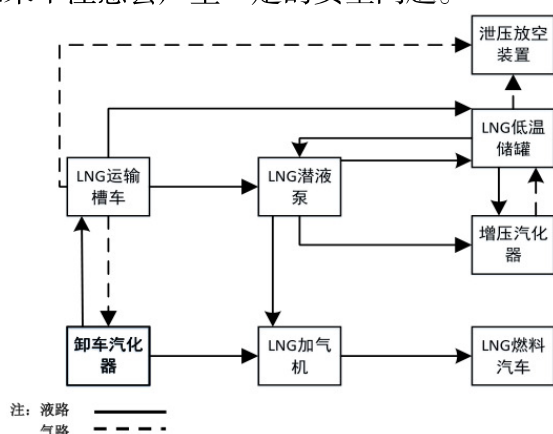


图 1 LNG 加气站工艺流程框图

2 LNG 特性及火灾危险性

LNG 是一种低温液体，具有可燃性，主要由甲烷构成，甲烷临界点为 190.4K。主要特性有以下三点：

2.1 火灾危险性

纯甲烷在空气中的可燃范围为 5%~15%，但由于 LNG 由多种轻质组分构成，其实际的可燃范围较纯甲烷窄，燃烧速度快，与空气混合能形成爆炸性混合物，遇热源、明火极易产生燃烧、爆燃^[5]。

2.2 低温危险性

LNG 是深冷液体，温度在 -162℃ 左右，低温的主要危险包括低温脆断（裂）、冷收缩危害、泄

漏后形成的低温环境伤害等。泄漏后形成的低温环境伤害是指人体皮肤直接与储存或处理 LNG 的设备表面接触会导致皮肤冻伤。低温脆断（裂）表现在发生 LNG 泄漏后，形成的过冷液体、射流或冷蒸气云，使所接触的材料变脆，特别是对 LNG 储罐可能引起外罐脆裂或变形，导致真空失效，绝热破坏；泄漏的 LNG 液体黏度小、流动性强，泄漏的液体四处流散、蔓延，流经的地面、防火堤、设备基础等因冷冻而强度大大降低，甚至发生坍塌事故。将承受从周围环境温度到 LNG 温度的快速冷却。在此冷却过程中产生的温度梯度将产生热应力，该热应力是瞬态的、周期性的，而且其值出现在与 LNG 直接接触的容器壁为最大。这种应力随着材料厚度的增加而增加，当其厚度超过约 10mm 时，应力值将很大。冷收缩危害致使管材、焊缝、管件受损产生泄漏。

2.3 蒸发危险性

LNG 蒸发没有残留，对环境的影响较小。与水或地面接触可迅速蒸发，形成蒸气云。容器内 LNG 蒸发特性的主要危害：低温容器管道因热膨胀、热蒸发超压而发生的爆裂事故；系统中存在气体，LNG 低温泵可能发生气蚀现象；管道中的两相流与管道振动；BOG 气体损耗、污染环境等。LNG 蒸气通过稀释呼吸区域内的氧气浓度使人窒息。当 LNG 蒸气浓度约为 52.2% 时，人们就会出现头晕、恶心的症状；当 LNG 蒸气浓度约为 71.3% 时，人们就会窒息而死^[6]。

3 LNG 加气站主要运行风险

3.1 LNG 卸车过程中的危险因素

在 LNG 装卸作业过程中，气化器、加热器、潜液泵、EAG、加液机故障，与卸车连接的软管以及汽化器受到损坏或被拉断，软管爆裂、阀门以及法兰接口漏液，都会造成 LNG 泄露并迅速气化，从而引发人员伤害或火灾爆炸事故。槽车不按规定停放，导致停车后出现滑动的危险。出现这种情况的原因可能有槽车停靠点没有明显的边界线，槽车停靠后没有在后轮处放置挡块，防止槽车滑动。这样可能导致与卸车连接的软管以及汽化器受到损坏，造成管道破裂以及液化气泄露的问题，从而引发安全事故。

3.2 LNG 存储过程中的危险因素

第一，LNG 储罐高液位运行，导致储罐内部超压，造成安全阀起跳，随后发生泄露，并可能造成次生事故的发生。储罐低液位运行，会出现低温泵

抽空的现象, 从而造成设备损毁事故的发生。

第二, LNG 低温储罐因漏热或绝热破坏而导致 LNG 会迅速受热气化^[7-8], 产生大量 BOG 气体, 储罐压力迅速升高, 此时, 若储罐安全阀泄压速度低于升压速度时, 导致储罐超压, 可能会造成储罐破裂等恶性事故的发生。

第三, 由于 LNG 的成分差别较大, 从而导致内部出现分层现象。在这种情况下, 上下层的温差和密度较大, 从而导致上下层不断进行热对流, 直到温度和密度达到平衡, 此时液体会迅速混合而产生大量的 BOG, 让储罐内的压力迅速升高。这种问题会导致储罐发生超压泄露, 遇明火易爆炸。

3.3 LNG 加液过程中危险因素

当潜液泵的出口压力过高会导致危险发生, 原因主要有加气机故障、车辆气瓶压力过高、气嘴发生冰堵都会造成潜液泵出口压力的增高。潜液泵出口流量增大时也会导致爆炸发生, 主要原因有泵出口管路 LNG 大量泄漏, 如加气软管破裂、加气机进口管道断裂等。

操作人员不按规程操作或误操作、加液软管被加气车辆拉断、加气车辆误操作撞击加液机、各接头部位、卡套或其它连接装置密封损坏、加液枪头自密封阀失效、加液机安全阀起跳或气液放空阀误开启、汽车 LNG 气瓶相关部件密封失效均可能导致 LNG 泄露, 并引发人员冻伤或火灾风险。

4 主要防护措施

工作人员应定期做好 LNG 加气站设备设施的检修、维护保养工作, 做到日常和定期保养相结合。加强储罐、管道、低温泵、加注机、气化器等设备设施, 仪器仪表及安全阀、压力表、可燃气体和有毒气体仪器仪表等安全报警设施的日常维护保养工作, 确保设备设施及仪器仪表的完好投用。加强对罐区可燃性气体的含量监测, 加强监测设备和报警设备的维护, 正确选择阀门、法兰及罐体的安全附件的型号, 保证设备的源安全性, 加强阀门、法兰、储罐安全附件和罐体完整性、安全性的检查, 防止因腐蚀等原因造成罐体开裂, 预防泄漏。储罐的充装量应符合充装系数的要求, 储存液位宜控制在 20%~90%。储罐应设置高低液位报警联锁装置, 储罐液相出口管应设置紧急切断阀。

在加气前, 应检查阀门、管道接口是否存在气体泄漏或其它异常情况, 如有异常情况或者泄漏, 则不予加气。即使使用了 PLC 控制系统, 相关机械系统也可能出现故障, 因此在加气运行中, 必须

密切关注设备是否有异常情况或异常声响, 并作好相关记录。在卸液、加气及充装钢瓶时, 严禁任何人员跨越加气枪软管, 以防踩到软管, 造成事故。在雷雨天气、设备出现故障以及加气站周围发生不能保障卸液、充装、加气安全和正常工作的事件或情况, 应该暂停卸液、充装和加气作业。

工作人员在工作时应该穿戴规定的防静电工作服、防冻手套、头盔等防护用品, 不得携带手机。同时, 工作站内所有的设备都必须进行定期维护, 并将维护责任落实到个人。在加气站内部应该禁止无关人员的进入, 防止出现意外情况。另外, 要配备足够的灭火器材, 定期进行维护, 确保其能够正常使用。

加强对工作人员的培训, 提高其工作能力和安全意识, 建立完善的的安全管理制度, 对工作场地进行定期的安全检查。对每一个工作岗位制定相应的操作规范和安全制度, 必须对新到的工作人员进行有针对性的岗前培训, 确保能够安全操作。

5 结语

由于 LNG 自身具有清洁、高效等特点, 但也是一种非常危险的化学燃料, 从事 LNG 加气站建设或运营的从业者角度出发, 需要更好的了解它的特性, 在加气站建设和运行上更合理的规避它的不安全因素, 更大的发挥它的能源优势, 杜绝事故的发生, 为保障 LNG 加气站的安全奠定基础。

参考文献:

- [1] 杨莉娜, 韩景宽, 王念榕, 等. 中国 LNG 接收站的发展形势 [J]. 油气储运, 2016, 35(11): 1148-1153.
- [2] 侯智强. LNG 加气站工艺技术与安全探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(7): 119-120.
- [3] 颜秋梅, 丰霞. LNG 加气站的安全风险及安全措施建议 [J]. 生物化工, 2016, 2(5): 66-68.
- [4] 严文锐, 吕佳. LNG 加气站泄漏安全风险分析与控制 [J]. 石油库与加油站, 2021, 30(5): 8-10.
- [5] 李博. LNG 加气站安全风险分析与管控措施 [J]. 化工管理, 2018(26): 93-94.
- [6] 段玉龙. LNG 特性及危险性分析 [J]. 交通节能与环保, 2013(2): 5-10.
- [7] 程旭东, 彭文山, 孙连方, 等. 热应力作用下 LNG 储罐外罐裂缝及失效时间分析 [J]. 天然气工业, 2015, 35(3): 103-109.
- [8] 曹学文, 彭文山, 王萍, 等. 大型 LNG 储罐罐壁隔热层保冷性能及其优化 [J]. 油气储运, 2016, 35(4): 369-375.