

LNG 加气站天然气储存安全管理研究

何梦琪 (蜀道交通服务集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要: 液化天然气 (LNG) 作为一种清洁能源, 具有洁净环保的特点, 在交通能源领域发挥着重要的作用。LNG 加气站是重要的基础设施, 确保其安全可靠运行是非常关键的。本文从保障公共安全稳定、确保能源供应连续稳定以及促进 LNG 产业健康发展等方向, 探讨了 LNG 加气站天然气储存安全管理的作用, 同时在探讨 LNG 加气站天然气储存安全管理原则基础上分析了天然气储存安全管理要点。

关键词: LNG 加气站; 天然气储存; 安全管理; 本质安全; 智能监测

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0130-03

Research on the Safety Management of Natural Gas Storage in LNG Refueling Stations

He Mengqi (Shudao Transportation Service Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: As a clean energy source, liquefied natural gas (LNG) is characterized by its cleanliness and environmental friendliness, playing a significant role in the field of transportation energy. LNG refueling stations are critical infrastructure, and ensuring their safe and reliable operation is of paramount importance. This paper explores the role of safety management in natural gas storage at LNG refueling stations from the perspectives of safeguarding public safety and stability, ensuring continuous and stable energy supply, and promoting the healthy development of the LNG industry. Furthermore, based on an analysis of the principles of safety management for natural gas storage in LNG refueling stations, key points of natural gas storage safety management are examined.

Keywords: LNG refueling stations; natural gas storage; safety management; inherent safety; intelligent monitoring

LNG (液化天然气) 加气站是 LNG 车辆能源补给的关键节点, 近年来 LNG 加气站的建设规模及经营规模急速扩大, 形成了分布于全国各地交通干线的 LNG 加气站网络。LNG 是在常压、约 -162°C 条件下将天然气冷却液化而成, 具有明显的物理化学性质, 存在高危险性。研究 LNG 加气站天然气储存的安全管理是企业落实生产经营主体的安全责任、保证公共安全、促进 LNG 产业发展等有效途径。

1 LNG 加气站天然气储存安全管理作用

1.1 保障公共安全稳定

LNG 加气站一般坐落在人口稠密的城区或者重要交通集散处, 四周建筑林立, 人员密集。而储罐作为整个加气站里面体积最大且危险性最高的装置, 其运行安全与否直接关系到站外周边的居民和整个城市的安全。做好储罐的安全储存管理工作, 可以在很大程度上防止及控制 LNG 泄漏、火灾和爆炸。健全的安全保卫与应急防御体系, 能在意外发生时有效遏制事态发展, 不仅切实保障站内工作人员和用户的安全, 也有助于维护周边居民、公共设施及城市运行的安全稳定。

1.2 确保能源供应连续稳定

为了保证车辆能按时充足加注到 LNG 燃料, 必须确保储罐安全、稳定、可靠运行。因为储罐是液化天

然气的主要设备, 如果管理不当造成了储罐发生事故或者故障时, 会导致加气站停止营业, 无法为下游提供燃气, 因此造成了物流运输无燃料可用, 公交运输无法运营以及居民生活及工作也无法得到保证。而在 LNG 加气站天然气储存安全管理过程中, 采用科学的储存安全管理方法, 确保储罐长期、安全、高效运行, 可避免非计划性的停工和维修工作, 为下游用户提供持续稳定的清洁能源供应^[1]。

1.3 促进 LNG 产业健康发展

重大安全事故如果发生, 就会引发外界对 LNG 安全性的质疑, 这就使得政策收紧、项目审批延缓或受阻, 不利于 LNG 产业的良性发展。相反的, 采用高标准的储存安全管理方案, 在确保企业生产经营平稳有序基础上, 通过树立行业安全示范标杆, 可进一步增强社会公众对 LNG 作为清洁能源的信任与认可。LNG 加气站天然气储存安全管理过程中, 通过采用精细化的安全管理模式, 能降低事故发生率, 减少财产损失, 延长设备使用寿命, 推动 LNG 产业迈向规模化、规范化发展。

2 LNG 加气站天然气储存安全管理原则

2.1 预防为主原则

LNG 储存安全的关键是“防”而不是“救”, 要把工作的重心前移, 在源头上预防, 全过程管控风

险。预防为主原则要求从系统上开展风险辨识和评价工作,对储罐的设计、制造、安装、运行、维护、检验、报废等全寿命周期各个环节开展细致的风险辨识和评价,找出可能存在的危险源和薄弱环节。同时采取相应的技术措施、管理控制措施和个体防护措施,形成多重保障,把各种隐患消灭在萌芽状态,实现由“被动应对”向“主动预防”的根本转变。

2.2 本质安全原则

本质安全是安全管理最高境界,主要采用手段和技术从根本上消除危险或者减小危险。对于 LNG 的储存,可以从以下方面考虑:在储罐的设计选型中优先选用结构成熟的、安全余量大的(全包容罐);选用能满足低温工况下使用的良好材料;设置可靠的安全附件(组合式泄放装置),如确保本质安全性的储罐设计选型,储罐及罐区全部配备具有自检功能的可燃气体报警器和火灾报警系统,并且常规检查维修工作能正常运行。即使在发生误操作或局部故障的情况下,系统也可以进入并保持安全状态,有效地避免事故发生。

2.3 系统协同原则

LNG 储存安全管理工作是包含人员、设备、物料、方法、环境等诸多要素在内的系统工程,其中任何一个环节出现漏洞都可能导致险情危局的发生。因此,安全管理绝不能只做到“头痛医头、脚痛医脚”。需要运用系统思维把工程技术、管理制度、人员行为、应急响应等方面纳入进来,形成工程技管、制度人行、应急响应系统。同时系统协调原则要求明晰岗位职责,规范工作流程,通过强化信息共享,让“人、机、料、法、环”始终处在受控状态。

3 LNG 加气站天然气储存安全管理方法

3.1 工程技术防控方法

第一,提升储罐结构可靠性。对于储罐的选型而言,优选采用双金属全包容式储罐结构,内罐采用 06Cr19Ni10(304L)等奥氏体不锈钢制作,壁厚、焊缝均需要考虑到 -165°C 低温情况下的强韧度问题,环纵焊缝均采用氩弧焊打底、自动埋弧焊填充。同时还需完成 100% 射线或超声波无损检测,不得有裂纹、未熔合等缺陷;外罐属于次级屏障,能容纳内罐满容积的 LNG 及 LNG 挥发后的气体,起到阻止泄漏的作用^[2]。

第二,管控蒸发损耗及泄放风险。储罐夹层优先选用高真空多层绝热(MLI),真空度要求 $\leq 5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$,且检测真空度衰减情况。此外,可通过改进绝热结构,使 BOG 日蒸发率 $\leq 0.25\%$,降低储罐超压风险。安全泄放系统设置两条独立的路

径:其中一条是选用弹簧式安全阀,泄放设定压力为 18kPa。另一条是爆破片+安全阀,泄放爆破压力为 22kPa,泄放的所有气体经专用管路引至站区上风向的高点放散塔,塔顶高于周边最高建构筑物 2m 以上,以防止液体槽罐车装车作业区的 VCP 在地面积聚。

第三,严控低温管路系统泄漏源。LNG 工艺管道统一采用 0Cr18Ni9(304)无缝钢管,管件、阀门选用低温专用型号(如 LNG 球阀、波纹管截止阀),严禁使用铸铁或普通碳钢。管道连接以全焊透对接焊为主,减少法兰连接;确需法兰处,采用带颈对焊法兰配金属缠绕垫片,并加装防泄漏收集托盘。

在 LNG 加气站或接收站的工艺系统中,为有效防控泄漏风险,需在卸车臂下游、储罐进/出口、潜液泵出口等关键管路节点,设置液压或气动驱动的紧急切断阀(ESD)。这些切断阀与现场安装的防爆型可燃气体探测器实现硬线连锁,一旦探测器检测到可燃气体浓度达到 20% LEL(爆炸下限)的预警阈值,系统立即发出关闭指令,确保相关管路在 3s 内完成自动切断,迅速隔离危险源。

该设计严格遵循《石油化工企业可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》(GB/T 50493)等相关规范,不仅响应迅速、动作可靠,还能有效防止事故扩大。同时,ESD 阀的状态信号实时上传至站控系统,便于运行人员远程监控与应急处置^[3]。

3.2 安全管理体系构建方法

第一,落实储罐全周期台账管理。依据《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG 21-2016)第七章第七十二条明确规定:“使用单位应当建立压力容器安全技术档案,做到一台一档,并保证档案的完整性、真实性和可追溯性。”档案内容应包括:竣工图样、产品合格证、质量证明书、监督检验证书、安装及使用维护说明、定期检验报告、年度检查记录、改造维修资料、安全附件校验记录以及运行异常和事故处理记录。

在实际管理中,应以单台 LNG 储罐为单元,系统归集从出厂资料、材质证明、焊缝无损检测报告、水压试验记录,到安装验收文件、首次投用检查、历次定期检验(全面检验与年度检查)、安全阀校验、真空度测试、开罐检查及维修更换等全过程技术资料。所有记录须由责任人员签字确认,并附现场照片与原始检测数据。设备管理部门应每季度依据 TSG 21-2016 第七十三条关于“使用单位应当对安全技术档案进行动态管理”的要求,对档案完整性进行核查,并将核查结果作为编制下一年度检维修计划和风险评估的直接依据,确保储罐全生命周期处于受控状态^[4]。

第二, 固化关键作业操作流程。依据《城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术规程》(CJJ 51-2016)第 3.1.3 条“运行、维护和抢修作业应编制操作规程, 并严格执行”的规定, 以及第 4.2.9 条“LNG 储罐相关操作应由经培训合格的人员按程序执行”的要求, 必须对卸车、BOG 处理、日常巡检等高风险作业实施标准化流程管理。

针对上述作业, 应编制现场操作卡, 内容须涵盖作业前确认项、作业中禁止行为以及异常情况处置步骤。操作卡应图文并茂, 张贴于各作业点操作箱内, 作为现场执行的唯一依据。操作人员每完成一个步骤须口述确认, 班组长每日依据 CJJ 51-2016 第 3.2.2 条关于“作业过程应有监护和记录”的要求, 对执行情况进行核查, 凡未按操作卡执行的, 一律按违章作业处理, 并纳入安全绩效考核^[5]。

第三, 严格控制人员上岗及能力复评。新入职人员要经过不低于 40 学时的岗前培训, 培训内容为 LNG 物性、站区工艺流程、典型事故案例和应急演练, 同时还需要理论考试和实操考试均合格后方能取得公司内部上岗许可。在岗职工每年开展一次复训工作, 重点考核应急关断、泄漏初期处置等实操能力, 连续两年考核倒数的职工停止其操作资格, 并返回原岗位进行补差, 确保一线人员具备应知应会岗位风险辨识能力。

3.3 智能化监测预警方法

第一, 根据规范性要求布置多源感知系统。依据《城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术规程》(CJJ 51-2016)第 3.4.2 条“燃气设施应设置可燃气体泄漏报警装置, 并定期校验”的要求。在 LNG 储罐区、卸车区、工艺管廊等重点区域, 应按规范要求的间距设置防爆型可燃气体探测器、低温异常探测器及火焰探测器, 并将所有探测信号接入站控系统, 与紧急切断阀、事故风机等安全设施实现联锁控制^[6]。同时, 在关键工位安装高清视频监控设备, 对设备运行状态及人员作业行为实施全天候记录, 确保重点部位视频监控全覆盖, 满足《安全防范工程技术标准》(GB 50348-2018)的相关规定。

第二, 建设集中的运行监测平台。根据《油气储存企业安全风险智能化管控平台建设指南(试行)》(应急厅〔2022〕57号)“推动企业建设集监测预警、风险评估、应急指挥于一体的智能化平台”要求, 把储罐液位、压力、温度、BOG 流量、真空度、安全阀状态等实时运行参数以及定期检验、维修记录、气象预警等相关信息融为一体。同时在平台内进行整合, 具备趋势分析、阈值预警的功能, 能够实现对设备劣化

趋势的早期识别, 实现由单一参数超限报警到系统风险预警的转变, 提升风险预判能力^[7]。

第三, 建立基于数字模型的应急响应机制。根据《危险化学品企业安全风险智能化管控平台建设指南》中的“鼓励应用数字孪生技术支撑应急决策”要求, 建立起 LNG 加气站三维数字模型, 在这个模型里把相关的工艺流程、设备布局、应急预案、应急物资、疏散路线这些都做相应的汇总^[8]。当出现险情后会匹配出最准确的泄漏点位、泄漏物质性质以及相关气象条件, 然后据此自动生成最适配的应急处置建议, 同时快速地发送给现场的操作终端以及应急指挥中心; 再通过移动终端完成远程专家连线和操作指示等的操作过程, 以保障事故状态下的处置工作能够实现准确、高效和符合标准流程的进行。

4 结语

LNG 加气站天然气储存的安全管理工作开展, 不仅关系到社会的安全环境, 同时也影响着企业的稳健发展。天然气储存安全管理不是一个简单的管理控制模式, 而是需要贯彻安全管理原则, 通过采用行之有效的管理模式才能实现“预防为主、本质安全、系统协同”管理要求。在今后研究中, LNG 储存安全管理向着自动化、智能化和自主化的方向不断提高, 但不论怎样进步, 也依然离不开人这个重要的因素。LNG 加气站安全管理只有不断加强对人员自身的要求, 开展有效的安全文化宣贯活动, 在组织内部形成“人人讲安全、事事为安全”的氛围, 并把这种理念转化为实际行动, 才能长久地保证 LNG 加气站的安全。

参考文献:

- [1] 张浩.LNG 加气站设备与安全的管理[J]. 石油库与加油站, 2022,31(04):5-9+51.
- [2] 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(05):8-10+6-7.
- [3] 夏功科.LNG 加气站泄漏安全风险分析与控制研究[J]. 化工管理, 2022,(29):103-106.
- [4] 王龙, 韩立星.LNG 加气站安全与损耗风险的控制对策[J]. 中国石化, 2022,(09):51-52.
- [5] 王世民.LNG 加气站工艺技术与安全研究[J]. 石化技术, 2024,31(04):306-308.
- [6] 吴树勤, 高为忠.LNG 储存设施的性能化安全设计研究[J]. 建筑技术开发, 2024,51(08):133-135.
- [7] 高大鹏. 浅谈 LNG 气化站安全生产风险管理措施[J]. 中国新技术新产品, 2018,(24):143-144.
- [8] 贾思琦. 液化天然气的储运问题与安全技术管理[J]. 住宅与房地产, 2021,(03):208-209.