

液化天然气(LNG)储运的安全技术及管理措施

赵小军

巴彦淖尔华油天然气有限责任公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000

[摘要]液化天然气属于清洁能源范畴, 其中储运环节有着明显安全风险。此文依据液化天然气独有的低温、易燃特点, 细致剖析储运环节关键风险因素, 广泛探讨涵盖储罐设计、泄漏监测、应急切断以及防火防爆等核心技术举措, 全方位阐述安全管理体系建设、人员培训、设备维护还有应急响应等相关管理方式。

[关键词]液化天然气; 储运安全; 风险防控; 监测技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17508

中图分类号: TE88

文献标识码: A

Safety Technology and Management Measures for Liquefied Natural Gas (LNG) Storage and Transportation

ZHAO Xiaojun

Bayan Nur China Petrol Natural Gas Co., Ltd., Bayan Nur, Inner Mongolia, 015000, China

Abstract: Liquefied natural gas belongs to the category of clean energy, and there are obvious safety risks in the storage and transportation process. This article carefully analyzes the key risk factors in the storage and transportation process based on the unique low-temperature and flammable characteristics of liquefied natural gas. It extensively explores core technical measures such as tank design, leak monitoring, emergency shutdown, and fire and explosion prevention. It comprehensively elaborates on the construction of safety management systems, personnel training, equipment maintenance, and emergency response management methods.

Keywords: liquefied natural gas; storage and transportation safety; risk prevention and control; monitoring technology

随着我国经济社会的逐渐发展, 清洁能源逐渐成为了当前世界的发展主流。而液化天然气 (LNG) 作为一种清洁性的能源对于国家节能减排的发展十分关键。2024 年我国天然气消费量达到 2465 亿 m^3 , 在一次能源消费中占比升至 8.8%, 液化天然气储运设施规模不断扩大, 安全运行压力随之增加。液化天然气具有低温深冷、易气化、易燃易爆等特性, 在储运过程中存在泄漏、火灾、爆炸等多种风险。液化天然气储运中的安全管理工作占据着重要地位, 而就当前的实践情况来看, 储运管理成效虽然有所提升, 但是依然存在一定问题, 需要落实针对性处理, 提升液化天然气运输安全总体水平。

1 LNG 特性及储运风险分析

液化天然气是一种主要由甲烷构成的低温液体, 在常压条件下其沸点低至零下 162°C , 密度大约是 $430\text{kg}/\text{m}^3$, 并且气液膨胀比可达到 600:1 的程度。正是这些物理特性, 让液化天然气在储存环节、运输环节以及使用环节之中都存在着诸多风险^[1]。其低温特性有可能致使材料出现脆化并最终失效的情况, 气化特性则可能诱发超压方面的危险状况, 而它的易燃特性更是有可能引发火灾或者爆炸这类严重的事故。并且这些风险因素彼此之间存在着相互关联以及相互影响的关系, 从而形成了一种极为复杂的安全方面所面临的挑战。

在储存这一环节当中, 液化天然气储罐存在着分层以及翻滚这两种现象。具体而言, 当不同密度以及不同组分

的液化天然气在储罐里面出现分层并且不断积累起来的时候, 处于底层位置的液体因为会吸收热量, 所以它会比上层的液体更早地进入到过热的状态。该底层液体就会在极短的时间之内迅速发生气化, 进而致使大量的气体从中逸散出来, 最终使得罐内的压力骤然间大幅度升高。这样的一种压力方面的突变情况, 是完全有可能超出安全阀所具备的排放能力的, 如此一来便极有可能引发机械出现失效状况以及介质产生泄漏问题。

在运输这个环节当中, 槽车还有船舶属于是处于移动状态之中的危险源, 它们所面临的那种风险环境是比较复杂且多变的。就道路运输而言, 其中存在的交通事故、机械方面出现的损伤情况, 还有绝热功能出现失效等一系列问题; 而海上运输同样存在诸多威胁, 像船舶相互之间发生碰撞、遭遇恶劣的天气状况以及遭受海盗的袭击等等, 这些问题全都使得安全管理的难度有了大幅度的提升^[2]。在 2024 年的时候, 红海危机不断持续并且还在进一步蔓延开来, 这使得大量的船舶不得不绕行好望角, 如此一来便整体上提升了液化天然气运输市场在吨海里需求方面的情况, 同时也让风险暴露的时间有所增长。

2 LNG 储运安全技术

2.1 储罐设计与材料安全技术

液化天然气储罐属于储存系统当中的核心设备, 其设计情况和整个设施的安全可靠性存在着直接关联。在现代液化天然气储罐的设计当中, 普遍会采用双层容器的结构

形式,其中内罐所选用的材料是耐低温的9%镍钢、铝合金或者奥氏体不锈钢,而外罐则采用预应力混凝土,将其作为主要的承力结构以及防护屏障来使用。这样的设计一方面充分考虑到了低温介质的储存方面的实际需求,另一方面也兼顾到了针对外部冲击以及环境影响所提出的防护要求。就全容式液化天然气储罐而言,应当设置安全阀、真空安全阀以及补气阀,而且安全阀与真空安全阀均需设置备用阀,通过这些多重的保障举措,能够有效确保储罐在出现异常工况的时候依然具备良好的安全性。

储罐附件系统在保障安全运行方面起着极为关键的作用。其中,液位测量系统得设置高液位报警、低液位报警以及高液位和低液位报警等,并且要配备自动切断连锁装置;温度监测系统会凭借在储罐不同高度处布置的测温点来实时对液体温度分布加以监控,进而预警可能出现的分层现象;而压力监测系统则负责跟踪罐内压力的变化情况,以此来控制泄放和补充的相关流程^[3]。这些系统相互协同开展工作,由此便形成了一张针对储罐运行状态的全面监控网络,从而为安全运行给予了数据方面的有力支撑,并且也提供了相应的决策依据。

材料选用属于储罐设计环节里的一项技术难题,得同时顾及低温性能、机械强度以及经济性这几个方面。9%镍钢有着不错的低温韧性以及强度,不过其焊接工艺颇为复杂,并且成本也偏高。铝合金还有奥氏体不锈钢在加工性能上表现更佳,然而它们的强度相对来说是比较低的。就液化石油气储罐而言,要是采用低合金高强钢的话,那么就要明确标出其可适用的腐蚀介质浓度,在工艺操作方面也要严格把控腐蚀介质的浓度,不可以超出浓度来使用。随着材料技术的不断进步,给储罐安全带来了更多的选择可能,像复合材料以及应用功能性涂层技术在腐蚀防护这个领域已经呈现出很好的发展前景了。

2.2 泄漏监测与应急切断技术

液化天然气发生泄漏时的监测工作,这可是预防重大事故的关键所在,说它是第一道防线也不为过。气体检测报警系统务必要把所有可能出现泄漏的地方都涵盖进去,像储罐区、装卸区、工艺装置区以及管道连接处等区域都要涉及。探测器的类型以及布点的策略,得依据液化天然气的密度特性还有可能发生的泄漏场景来加以优化设计才行。那些大型的油气储存企业,可得把气体检测报警系统、紧急切断系统、视频监控系統以及雷电预警系统都配备齐全了。

应急切断系统算得上是控制事故不断扩大的极为关键的一项设施,其能够在察觉到出现异常状况的时候迅速地将危险源予以隔离。此系统包含了传感器、控制单元以及执行机构这几个部分,一般而言,其响应时间是需要为数秒之内把全流程的操作都完成好的。就装卸作业来讲,紧急切断阀应当设置于距离装卸车台超出10m并且方便开展操作的地点,并且还须得拥有远程控制以及手动操作这两方面的功能。

智能监测技术在不断发展,给泄漏防控带来了全新的解决办法。中海油气电集团技术研发中心携手康士伯数字公司展开合作,在珠海液化天然气接收站推行数字孪生技术应用试点,由此构建起了接收站的动态运营大脑。该系统凭借以机理模型作为核心所构建的液化天然气接收站工艺数字孪生体,突破了传统技术方案所存在的局限,能够实时接入现场的工艺数据,实现对接收站实际运行状态的动态同步还原。这样一种创新的技术手段,使得泄漏风险识别以及响应的准确性与及时性都得到了大幅度的提升。

2.3 防火防爆与低温防护技术

防火防爆技术在液化天然气储运安全方面占据着极为关键的地位。考虑到液化天然气存在火灾危险性这一情况,设施在布局之时务必要将防火间距、通风条件以及应急救援需求等方面都充分考量进去。一般来讲,储罐区往往会布置于远离明火与热源之处,并且在其周围会设置防火堤以及引流沟,以此来对泄漏液体的流向加以控制,同时也能对蒸发范围起到一定的限制作用。就防爆电气设备而言,其选型以及安装工作都应当严格遵循相关的标准要求,从而确保能够在爆炸性环境当中安全地运行。

低温防护技术主要是针对液化天然气那种极为寒冷的特性来开展的,其目的在于防止相关设备出现失效的情况,同时也避免人员遭受伤害。在防护措施当中,保冷层的设计无疑是非常关键的一个技术环节,它能够起到减少外界热量传入的作用,进而维持住低温的环境状态。除此之外,这样的设计还能有效防止设备外表面出现结霜的现象,降低冻伤的风险。在材料的选择方面,得充分考虑到材料在低温环境下性能会发生怎样的变化,务必要避免出现脆性断裂以及密封失效这类情况。对于那些操作人员有可能会接触到的低温表面以及介质,就需要采取相应的隔离举措,并且设置警示标识,同时还要为操作人员配备专门用于防低温的个人防护装备。

工艺安全技术着重于流程方面的优化以及风险的预防工作,借助自动化控制手段来降低人为干预的情况以及操作出现失误的几率。就槽车装车这一情况而言,在传统操作模式当中,当不进行装车作业的时候,低压泵能够较为平稳地运行,并且其启停调整的频次也比较低。而数字孪生系统凭借装车系统的模拟以及智能优化相关技术,达成对装车方案的预测性优化,该系统可以实时抓取当前装车流量所发生的波动变化情况,并且会同步去触发槽车模型以及相应的算法来开展迭代推荐操作,从而使得槽车总管流量的变化趋向于稳定状态。

3 LNG 储运安全管理措施

3.1 安全管理制度体系建设

安全管理制度体系对于液化天然气储运安全而言,属于基础性的保障要素。我国应急管理部在2023年所发布的《油气储存企业安全管理指南试行征求意见稿》,给相关行业给出了颇为详尽的管理框架以及技术方面的具体

要求。企业需要以此作为根基,构建起契合自身特点的安全生产管理制度体系,将各级职责予以明确,并且清晰界定工作流程,进而达成安全管理的系统化与规范化目标。

风险管理机制作为安全管理制度的关键构成部分,涵盖了危险源辨识、风险评估以及控制措施制定等诸多环节。企业有必要构建起长效机制,按时开展危险源辨识与风险评估方面的工作,以便能够及时察觉并清除事故隐患。就重大危险源而言,得为其建立起专门的档案以及相应的管理方案,并且要上报给相关的监管部门予以备案,从而接受更为重点的监管举措。

3.2 人员培训与操作规范

人员的能力以及安全意识在很大程度上决定了安全管理体系能否有效运转。就液化天然气储运设施的操作人员而言,他们得具备相应的专业知识与技能,要清楚知晓物料的具体特性、设备的工作原理以及应急处理程序,并且能够精准地去操作设备以及做好设备设施的维护保养工作。其培训内容务必要将安全知识、操作技能还有应急响应等方面都涵盖进去,同时要运用理论教学、实操训练以及模拟演练等多种不同的方式方法来开展,以此来确保培训所达成的效果以及质量均能够有所保障。

操作规范属于技术文件范畴,其作用在于对作业活动予以指导,务必要涵盖所有关键操作以及异常工况处置相关内容。操作规程得具体细化至每一个作业类别,像进退料环节、装卸作业环节等这些重点环节的技术要求都得明确,硫化氢脱除作业、报警处置等方面所涉及的专项管理要求也需包含在内。操作规范在编制的时候,要以风险分析和技术标准作为基础,确保内容既准确又可靠,表述方式还得清晰且通俗易懂,方便操作人员去理解并切实执行。

3.3 设备维护与定期检验

设备完整性乃是保障液化天然气储运安全的物质根基所在,其维护策略务必要依据设备所处的重要程度以及风险等级的不同情况,采用诸如预防性维护、预测性维护以及故障发生后的修复等多种不同方式加以组合运用^[4]。维护计划务必要将所有关键设备都涵盖进去,像储罐、管道、阀门、泵以及各类仪表等,同时要清晰明确地界定出维护的具体内容、相应的周期以及相关标准。维护记录必须要保证完整且准确无误,从而能够为设备状态的评估以及管理方面的决策给予数据层面的有效支撑。

定期检验算得上是验证设备完整性的一条颇为重要的手段。就压力容器、压力管道这类承压设备而言,依照国家相关法规以及标准规定,是需要开展定期检验工作的。其检验内容务必要涵盖宏观检查、测厚操作、无损检测以及安全附件校验等诸多方面,以此来对设备的实际状况以及剩余寿命展开较为全面的评估。而基于风险的检验策略,则能够对检验资源的分配予以优化,进而促使检验工作的效率与效果得以提升。

3.4 应急预案与演练机制

应急预案属于应对突发事件的行动指南范畴,其需将可能发生的各类事故场景都涵盖进去,同时要清晰明确组织职责方面的相关内容、资源调配的具体情况以及处置措施的相关事宜。就液化天然气储运设施来讲,其应急预案务必要包含针对泄漏、火灾、爆炸这类典型事故的响应程序,并且在制定过程中还需充分考虑低温介质以及易燃物质所具有的特性,进而采取那种具有很强针对性的控制措施。而应急资源保障则是确保预案能够有效发挥作用的物质根基所在,它包含了应急队伍、装备物资以及技术支持等诸多方面,对此必须提前做好相应的配置工作,并且要定期开展维护操作,以此来保证这些资源能够处于随时可启用的状态。

演练机制在检验以及完善应急预案方面,称得上是极为重要的手段。其借助模拟事故场景的方式,可对应应急响应人员的决策能力予以训练,同时也能让他们的操作技能得以提升^[5]。演练所采用的形式务必要呈现出多样性,像桌面推演、功能演练还有全面演练等都应包含在内,并且要确保能够涵盖不同层次以及各个环节。演练评估这一环节,在改进应急响应能力方面占据着关键的地位。

4 结束语

液化天然气的储运安全其实是一项复杂的系统工程,这里面涉及到技术层面、管理层面以及人员等诸多不同的维度,所以得要采取具有综合性特点的防控举措才行。唯有把先进的安全技术同完善的管理措施很好地结合起来,才能够构建起一个可靠的保障体系,从而去有效应对愈发复杂的那种风险环境。技术创新乃是提升安全水平的关键驱动力。数字孪生以及智能优化这类技术在实际应用当中,已然为液化天然气储运安全开拓出了全新的解决办法。在未来的发展进程中,得持续强化技术研发以及创新方面的工作,深入探物联网、大数据还有人工智能等技术同安全管理相互融合的方式,进而构建起更为智能化的安全保障体系。

[参考文献]

- [1]赵耀,李训周,战庭军,等.基于专利分析的LNG领域技术创新策略探讨[J].山东化工,2023,52(22):124-127.
- [2]曹惠兵,马岩,王新宇,等.针对液货舱低温LNG泄漏扩散分析[J].中国水运,2024(5):133-134.
- [3]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(9):142-144.
- [4]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.
- [5]魏洁,乔小伟.液化天然气储运安全技术和措施[J].山东化工,2024,53(1):235-237.

作者简介:赵小军(1986.3—),男,毕业院校:中国石油大学(华东),学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,当前就单位:巴彦淖尔华油天然气有限责任公司,职务:技术员,职称级别:中级工程师。