

LNG 加气站储罐安全风险分析与防治对策

陈 伟 (国家管网集团天津液化天然气有限责任公司, 天津 300450)

摘要: 随着我国经济快速增长, 我们的综合国力也在稳步提升。在这样的大背景下, 液化天然气 (LNG) 产业迎来了前所未有的发展机遇, 随着液化天然气产业的蓬勃发展, 一系列相关行业应运而生, 其中, 液化天然气加气站的建设和发展尤为关键, 它不仅是连接液化天然气生产与消费的重要环节, 也是推动液化天然气产业健康发展的基础设施。但是液化天然气本身性质特殊, 加气站容易出现火灾, 爆炸等安全事故, 所以如何做好储罐安全风险分析和防治就显得非常重要。基于此, 本文探讨了 LNG 加气站储罐安全风险分析和防治对策。

关键词: LNG 加气站; 储罐; 安全风险; 防治对策

液化天然气 (LNG) 汽车加气站作为一种新兴的能源供应设施, 本身性质相对特殊, 从工作介质的易燃易爆以及低温深冷的特性, 再到工作环境的特殊性与复杂性, 每一个环节都需要精心管控, 才能确保人员和财产的安全, 从而促进液化天然气作为新式清洁能源的利用和推广。

1 LNG 自身安全风险

1.1 火灾、爆炸特性

LNG 是以甲烷为主的液态混合物, 温度大约维持在 -162 摄氏度。由于其高度浓缩的特性, 当天然气从液态转换回气态时与空气混合并在一定的体积范围内, 会形成一种易燃易爆的混合物。这种混合物在遇到点火源, 就有可能引发爆炸。注: 天然气火灾危险性类别按照《建筑设计防火规范》划为甲类。

1.2 低温特性

LNG 因为在大气压上要维持非常低的温度才能储存, 一旦出现泄漏, LNG 会立即开始吸收周围环境的热量, 人体如果不小心直接接触到可能会遭受低温灼烧或冻伤, 会对皮肤和组织造成永久性损害, 因此在处理 LNG 泄漏时需要格外小心, 所以为了保证工作人员的安全要做好低温保存。

1.3 窒息

LNG 本身并没有毒性, 但是因为其无色、无味、无嗅的特点, 反而不容易被注意到, 在密闭的空间中如果没有良好的通风措施, 随着氧气的消耗, 天然气会逐步占据空间, 造成人员窒息。

2 LNG 加气站储罐的安全风险

2.1 LNG 储罐因漏热或绝热破坏产生的危险

因为 LNG 的储存环境遭到破坏, 绝热性能的下降, LNG 因受热而气化, 会使储罐内压力剧增, 此时可能会出现储罐破裂的情况。还可能发生内罐泄漏等事故,

如果内罐泄漏, 防爆盖就会打开, 降低储罐内外的压力, 但是不会引发储罐爆裂。针对这种因为漏热或者绝热破坏出现的问题, 可以采取在储罐顶部安装安全放散阀的措施来避免。

2.2 LNG 泵、增压器密封失效产生泄漏

LNG 的泵和增压器在正常运行时是相通的状态, 泵和增压器的进出口都有可能因密封失效产生泄漏, 并且增压器的进口是 LNG 储罐或 LNG 槽车的液相出口, 同样也会密封失效产生泄漏, 但是只要关闭储罐或 LNG 槽车的出液口后, 它的泄漏量就会很小。同样的情况, LNG 潜液泵和增压气化器的泄漏量一般都很小, 都可以通过关闭储罐阀门或 LNG 槽车液相阀门来处理。

2.3 工艺液相管道的危险性

2.3.1 保冷失效

LNG 液相管道为真空管或绝热材料绝热低温深冷管道, 当它们的真空度破坏或绝热性能下降时, 液相管道压力剧增, 从而导致管路失效。

2.3.2 液击现象与管道振动

在 LNG 的输送管道中, 由于加注车辆的随机性以及装置的反复开停, 会让管道内的液体流速发生激烈的变化, 液体流速的变化会使液体的动量发生改变, 带动管道内的压强迅速上升或下降, 此时可以听到液体锤击的声音, 这种现象叫做液击现象 (或称水锤或水击), 液击造成管道内压力的变化, 升压严重时会使管道爆裂, 迅速降压, 造成管路失稳, 导致管道振动。

2.3.3 管道中的两相流与管道振动

在液化天然气 (LNG) 的液相输送系统中, 液体在管道中的流动是一个复杂的动态过程。液体在管道中的移动会产生与管壁的摩擦会导致液体中的一部分发生气化, 这种气化的气体受到热量的影响, 会出现体积不断膨胀的现象。这种由于温度升高引起的体积

变化，加上液体中部分气体的气化，形成了两相流。由于流体体积的突然变化，还有流动状态的扰动，会让管道内部的压力分布受到影响，这种压力的变化会导致管道系统的不稳定，引发管道振动。

2.3.4 管道中蒸发气体可能造成“间歇泉”现象

在液化天然气（LNG）储存和运输过程中，与LNG储罐相连的液相管道内的液体在受到外部环境热量的影响时，会蒸发产生气体。这些蒸发气体的量相对较小，它们所产生的压力也相对较低，但是随着时间的推移，蒸发气体的量会逐渐增加，所产生的压力也会逐步增大。当这个压力增加到足够大时，积累的气体会突然喷发，内部压力急剧上升导致储罐的安全阀开启，以释放过量的压力，从而造成“间歇泉”现象。

2.4 LNG 高压柱塞泵密封失效或超压泄漏

液化天然气（LNG）高压柱塞泵和高压空温式气化器是L-CNG加气站的关键设备，由于设备的工作压力非常高，所以对设备的密封性能和耐压能力有较高的要求。它们的安全运行对于整个加气站的安全性和效率至关重要。通过内置的压力变送器和温度传感器，可以有效地预防和控制潜在的风险，确保加气站在高压和高负荷的工作条件下能够安全稳定地运行。

2.5 LNG 加气机泄漏

LNG加气机用软管直接给汽车加气，接口处容易漏气。可以通过关闭储罐的出液口，阻止更多的液体从储罐中流出。

2.6 加气卸气软管的老化及振动

加气卸气接口采用软管连接方式，软管在使用过程中容易发生弹性减弱、抗撕裂能力降低等老化现象，在高压气体传输的情况下加气卸气接口的软管会经历剧烈的振动发生爆裂。软管与接口之间的长期磨损可能会导致接口处的密封性能下降导致密封不严。

3 生产运行中的危险性

3.1 储罐液位超限

在实际生产活动中，储罐可能会遇到液位超限的情况，也就是说储罐内的液体超过了安全容量限制。如果不及时处理储罐超限问题，可能会导致多余的液体从溢流口以及气相阀中流出，这不仅会造成资源浪费，还可能引发安全隐患，甚至可能导致环境污染。所以，通常会在LNG储罐系统中安装液位检测、传递及报警系统。这样便于工作人员实时监控储罐内的液体水平，一旦检测到液位超过预设的安全高度，系统会立即触发警报，避免发生更加严重的事故。

3.2 LNG 设施的预冷

做好设施预冷可以避免部分管道部位的脆性断裂和冷收缩减少泄漏事故发生的概率。

3.3 BOG 气体

液化天然气在储存和运输过程中不可避免的会出现热量交换，而这种热量交换所产生的气体一般被称为BOG气体，气体出现本身是缓慢的，而且量并不大，一般情况下每昼夜可以达到天然气2%的蒸发量。但是如果不及时排出可能会导致压力升高，从而出现液体泄漏或者爆炸的问题，要安装降压调节阀，确保储罐压力始终处于正常状态。

3.4 其他因素的安全风险

①电气火花。天然气本身有易燃易爆的特性，除了办公场所外，在配电间和营业室可能并没有安装专业的防爆电气设备，一旦出现电火花就有可能导致火灾事故；②违章作业。违章作业作业的情况同样会影响加气站的安全性。例如工作人员违规抽烟，明火可能会导致爆炸。又或者是天然气储气罐装卸时无人监护，无关人员私自进入储罐区域等等，种种不符合安全标准的行为都有可能导致重大安全事故的发生；③中毒。天然气对人体基本无毒，但浓度过高时，使空气中氧含量明显降低，使人窒息；④车辆伤害。外来车辆进站加气，若站内路况、车况，驾驶人员素质等方面存在缺陷，可引发车辆伤害事故；⑤机械伤害。LNG加气站除了储存区域，还有装卸、工作、营业区域，机械设备相对较多，日常工作和维修保养过程中可能会出现由于设备老化、零件脱落而受伤的情况；⑥自然灾害的危险性。自然灾害是不可避免的一种危险，常见的情况有大风、暴雨天气等。另外出现地震或者雷电时也可能导致重大安全事故的发生。

4 安全风险防治对策

4.1 总平面布置

4.1.1 储罐布置

由于LNG易燃易爆的特点，储罐布置首先要考虑到安全性，LNG储罐以外的热源会对LNG储罐产生热作用，所以保持储罐之间的安全距离就显得尤为重要。无论是我国还是国际上都对储罐布置提出了相对应的防火要求。GB/T20368—2006《液化天然气（LNG）生产、储存和装运》中也给出了相同的数据要求，加气站按照标准执行就可以。

4.1.2 储罐围堰

设计和构建单容罐时，考虑到其结构特性和安全

性,必须配备一个关键的安全设施围堰。围堰的主要功能是预防,如果单容罐的内罐不幸发生泄漏事故时,它可以快速捕获和容纳泄漏出的液体,从而防止泄漏的液体扩散到周围环境中,避免可能造成的环境污染和安全隐患。为了确保围堰能够充分发挥其作用,设计上需要满足一定的空间要求。具体来说,围堰与单容罐内罐之间的物理距离必须达到一个最小阈值。这个阈值是基于几个关键参数计算得出的,包括储罐的最高液位、围堰的高度以及液面上蒸汽压的当量压头。这些参数共同决定了在发生泄漏时,围堰需要具备的最小容量。设计围堰要注意:首先,围堰必须具有足够的结构稳定性和耐压能力。其次,围堰所使用的材料必须有良好的耐温性,能够抵抗由于LNG的低温特性所引起的温度骤冷效应。最后,围堰的结构设计要有一定的耐火性和抗震性,确保能在紧急情况下保护罐区的安全。

4.1.3 储罐基础

大型立式平底圆筒形储罐的基础有高架式和落地式两种。高架式基础是一种专门设计用于支撑储罐的结构,它通过将桩基承台伸出地面,为储罐提供了一个坚固的支撑平台。在这种结构中,内罐底部特别设置了一个隔热层,这个隔热层的目的是为了有效地阻断内罐与外界环境之间的热交换,尤其是防止内罐中存储的冷态介质的低温能量向基础结构传递。落地式储罐的基础设计中,会采用一种独特的结构组合,也就是底部使用珍珠岩混凝土与绝热层相结合的方式,然后再预埋加热管,在管中通入热风或热水或在罐基础上预设电加热器。两种不同形式的基础各有优劣,高架式的安全系数更高,而落地式的要在隔热环节进行特殊设计,相对来说复杂性更高。目前大多数平底型的圆筒储罐仍然采用了高架式的结构形式。为了确保热能的有效隔离和冷能的保持,内罐的底部与外罐的底部之间特别设置了一个隔热层,而一般选用珠光砂混凝土或者玻璃砖这种导热系数更小的材料作为支撑层。

4.2 电气设计

考虑到天然气的特殊性质,电气设计方面首先要注重安全性。在站内控制室和有爆炸风险的场所需要设置正常照明和应急照明。在爆炸风险较高的场所都应该选用防爆型的灯具,而且要根据设计标准选择防爆等级不低于Exd II BT4,防护等级室内不低于IP54,室外不低于IP65的材料。其次,站内配电系统采用TN-S接地方式,除此之外,所有的电气设备都

要做好接地保护。

4.3 建筑设计

①耐火等级。为了减少火灾风险,要求建筑物的耐火等级至少达到二级,耐火时间至少达到两小时;②耐低温设计。建议使用抗冻性能较好的混凝土做好低温防护,另外,储罐钢支座应作耐低温处理;③抗震设计。按照工程和国家相关标准进行防地震设计。除了考虑地震力和操作载荷的影响加强建筑防震性能外,还要做好安全疏散通道和出口的设置。

4.4 加气站基本要求

对于已经建成的加气站来讲,要求进站人员和工作人员必须完整遵守各类管理制度。只要进入站区的人员就必须接受安全检查,而且严禁携带危险品,包括火机,火种等等。另外,要求专人检查加气站区域内是否出现以上危险品。操作人员和消费人员都禁止在站内使用通讯工具。未经过站内许可,不可以进行拍照和录像。

5 结语

综上所述,液化天然气(LNG)加气站作为天然气汽车产业的重要组成部分,正逐渐成为推动该行业发展的关键力量。本文对LNG加气站的安全性、经济性和操作流程进行了全面的分析,并提出相关建议,包括总平面布置、电气设计、建筑设计三个方面,但是研究本身存在一定的局限性。LNG加气站的安全与发展值得重视,需要多部门联合,不断推进技术革新和管理升级,实现LNG加气站的安全、高效和经济运营,为天然气汽车的普及和能源的可持续发展做出积极贡献。

参考文献:

- [1] 刘忠华,李学峰.LNG加气站建造技术与静设备完整性管理研究[D].成都:西南石油大学,2016.
- [2] 乔千哲,李晨,李淑一,等.基于DBN模型的LNG储罐泄漏风险分析研究[J].化工安全与环境,2023,36(7):22-28.
- [3] 颜秋梅,丰霞,孙哲,张凌峰.LNG加气站的安全风险及安全措施建议[J].生物化工,2016(5):3-5.
- [4] 夏功科,王旭日,李文山,贺小锋.LNG加气站泄漏安全风险分析与控制研究[J].化工管理,2022(029):121-123.
- [5] 王一昊,张浩然,魏军强,古志强.LNG加气站泄漏风险分析及探测器覆盖率优化[J].广州化工,2023(13):295-298.