

LNG 储罐事故的危害及应急处置措施分析

刘 靖 周闯锋 (延长石油天然气股份有限公司, 陕西 延安 716000)

摘要: LNG 具有低温、易燃易爆的特点, 一旦发生泄漏, 可能会导致爆炸、火灾等一系列危害, 因此在做好 LNG 储罐应急处置的同时, 应对相关人员进行应急演练, 并建立健全 LNG 储罐事故应急处置预案。文章从 LNG 储罐事故的危害入手, 结合实际案例深入分析 LNG 储罐事故应急处置措施, 确保人民群众的生命财产安全不受威胁。

关键词: LNG 储罐事故; 危害分析; 应急处置; 预防措施

LNG 储罐事故对环境、健康和经济都会造成很大的危害, 在 LNG 储罐事故的应急处置中, 应不断增强自身的安全意识, 并严格按照 LNG 储罐应急处置流程开展工作。此外, 在发生事故后, 还应及时向周围群众和单位发出报警信号, 并根据现场情况采取相应的灭火、疏散等措施。

1 LNG 储罐事故的危害

1.1 成因分析

LNG 是一种以天然气为主要原料, 经过净化、脱水、脱汞、液化等工艺处理后所得到的液态燃料, 是目前国际上最为流行的新型能源。与其他常规燃料相比, LNG 具有低温、易燃易爆、有毒有害等特点, 若其泄漏, 会对周围环境和人民群众生命财产安全造成极大威胁。由于 LNG 储罐本身的固有缺陷, 如设计不当, 会造成实际承载压力达不到期望水平, 所选材质和技术指标不符合要求, 有关零件的密封性能不好, 致使整个储罐品质都不合格, 在投产后容易发生事故。如果缺少重要的安全阀、液位计、压力计、温度计、探测器等, 或者这些安全阀不能正常工作, 造成储罐温度过高, 介质过热, 使 LNG 汽化, 使储罐内气压超出极限值, 也可能引起爆炸。LNG 储罐超过设计寿命

的容器, 容器的墙壁因侵蚀而变得稀疏, 降低了其强度, 当容器发生部分泄漏时, 容器内的钢铁会发生冷裂, 从而发生物理爆炸 (见表 1)。

1.2 危害分析

在极端温度下, 液态天然气在与水的接触过程中, 极易产生剧烈的相变, 导致剧烈的沸腾、巨大的噪声, 甚至可能导致液态气泡的膨胀、爆炸。LNG 蒸气云雾在进入受限空间后, 与大气发生可燃混合反应, 在遭遇点火源时会发生大范围的爆炸, 并产生冲击波及周边环境, 给周边环境带来严重的危害。LNG 在地表或水中有较多的外溢, 遇着火时可能引起大火; 当输送设施、管线中的液化天然气发生泄漏时, 就会被引燃, 引起喷射式火灾。储罐中 LNG 处于 -162°C , 当它泄漏到地表时, 初始 LNG 的汽化率非常高, 容易形成云或层流, 并且其浓度要比环境中的空气高得多, 汽化量与地表及大气的热供应呈比例关系, 当周边环境的温度下降时, 汽化率就会逐渐趋于平稳, 最终会在地表产生液体流动, 并且会向地表蔓延。一旦泄漏, 由于泄漏后的超低温, 很容易造成周围人严重冻伤, 也会使周围的设备和仪表受到低温的影响, 从而造成设备的损坏、失效或性能的降低。LNG 的低温性质, 不

表 1 储罐泄漏问题

储罐几何尺寸	储罐充装情况	工作条件	储罐泄漏类型	
			连续泄漏	瞬时泄漏
立式储罐高度: 52m 储罐端板高: 2m 外径: 83m 内径: 82m	储存量: 130000m^3 ($5.5 \times 10^7\text{kg}$) 液面距罐底: 28m	饱和液体温度: -162°C 压力 (表压): 400kPa	100mm	灾难性破裂
			200mm	
			400mm	

但会对工作人员造成伤害，而且当工作人员在呼吸到 LNG 之后，还会对其产生一种麻痹效果，在低温的影响下，他们的身体机能会变得更慢，心肺等功能也会变得更差，如果没有及时从储罐泄漏的区域中撤出，就会有生命危险。当发生大规模的 LNG 泄漏事件时，大气中的甲烷浓度会迅速升高，氧气浓度会迅速下降，当人们呼吸到大量的气态 LNG 时，就会出现神志不清、昏厥、2-5min 后就会死去的情况，而且没有任何预兆，一旦被人们发现，往往已经失去了治疗的最佳时间。

2 LNG 储罐事故应急处置措施

2.1 泄漏事故的处理方法

从顺风方向或逆风方向入厂，经生产过程中确认无误后，再对扩散区进行喷洒，对其进行喷洒，以进行降温。针对不同的渗漏状况，适时启用相关的固定式灭火设备，在经过发泡试验后，在液体流淌区进行高强度的泡沫塑料覆盖，在灾害平息后，再组织对渗漏部位进行封堵。救援队应加大聚集范围，确保发生意外区域的安全性，要保持一定的安全距离，要按照灾害发展情况进行预警和应急撤离，在没有足够的条件下，不要轻举妄动。液化天然气储罐出现大量气体泄漏时，主要采取减压、关阀、放空等技术手段，并设立警戒区，对火源进行监控，直到基本安全运行后，再停止紧急处理。处理组采用可移动的晃动水枪来对扩散气体进行稀释，禁止直接的水流对其进行撞击，禁止向低温储罐、容器、管道等设备上喷水。当控制阀门、输送管道等出现液相泄漏时，流程采取上下两级关闭控制阀门等切断物料的方法，处理组采用静止或可动的高密度泡沫来遮盖储液池或让低温的流体流动，控制 LNG 的蒸气蔓延的区域和速率，以便控制火源，设置警戒区，进行安全疏散，并启动相应的应急预案。禁止向低温设备和结霜部位喷洒清水。

封堵法堵漏的原理是将密封剂浸泡湿润，然后直接粘贴到漏失处，利用极低温的漏失气的影响，自动冻结漏失点，达到封堵目的。其操作方法为：对渗漏点位置进行观测，制备足够量的棉布或纯棉织物，将其加湿平展后，直接贴附在泄漏点上，持续用雾状水进行喷淋，每一层都喷洒一定量的干粉，反复进行该动作。通常对于轻度的渗漏，厚度可以保持在 5-6 层左右，在施工过程中可按照具体的渗漏程度来调整贴层的数目，做好以上工作后，再等 10-30min 左右，内层的黏附物质就可以将渗漏部位彻底冻结，从而达到堵塞目的。该技术具有封闭物质简便、查找方便、

易于实施等优点。通常选用具有良好的吸水性和抗静电性的棉花制品，以便于粘贴；干粉灭火器中的干粉，以碳酸氢钠（钾）、磷酸根为主，它的粉末在接触物体时，会与物体产生化学变化，很容易生成一种类似于玻璃的薄膜，它可以将空气隔离开来，延迟或阻止冷空气的扩散，也可以对空气进行稀释，起到降温的效果，可以避免起火，还可以与水结合，增强黏性。堵塞法又称填充法，它是一种用于 LNG 储罐的各类保险配件和连接管线破损或破损，或储罐上有一个大的空穴时堵塞的一种常用的方法。塞堵法的步骤为：依据泄漏点漏洞的尺寸，选择适当的非金属耐低温无机硬质材料或木材，尽量符合缺口的形状，将其切割或加工为锥形，在加工好的锥形物外面包裹棉花，将其填充到缺口内部，并夯实，从而实现堵塞。这种方式具有以下优势：耐高温材料和棉织类填料在寒冷环境下不会产生收缩或者产生脆性破裂，并且这种材料简单方便，易于寻找，切割或者加工等，所以在实践中具有更多的适用范围，具有更好的堵漏效果。使用上述两种处理方式时应特别留意：第一，极低温度的液化天然气有可能给靠近泄漏点的人体带来冷冻伤危险。所以，当与冷流体或水蒸气相接触或与之有联系的物体进行操作时，必须戴上非吸收型手套，并戴上口罩或戴上护目镜以保护眼球。在实施液化天然气封堵过程中，作业者应穿戴防冻服，以避免液化天然气飞溅至作业者，导致作业者冻伤。第二，空气呼吸器为一种无毒的室内呼吸气体。当大量 LNG 从泄漏处溢出后，便会发生汽化，若未遇上点火源，则大气中的甲烷含量将会非常高，将会给作业人员以及其他直接接触到不断扩张和扩散的 LNG 气团的人带来窒息的危险，所以作业人员需要戴上空气呼吸器。第三，液化天然气与大气相结合时，极易发生可燃气体，堵塞时应尽可能采用耐爆设备。

2.2 火灾事故的处理方法

LNG 因温度极低的特性，尽管在泄漏后可迅速被吸收并汽化，但仍需特定的工艺和环境才能使其达到燃点。如果不立即采取行动，或者泄漏持续了很长一段时间，当储罐周围环境变得很复杂并且很难控制时，泄漏的液化天然气会发生着火和燃烧。燃烧过程中热量会造成重大伤害，若得不到有效控制，甚至会引发重大爆炸。所以，在火情出现的最初阶段，应及时采取相应的防治措施。最常见和最高效的扑火方式是使用高浓度的泡沫来扑火。LNG 储罐着火、着火时，预

防爆炸的一项基本措施,也是其他应急措施的一项重要措施。利用高密度泡沫灭火技术,可以将高密度的高密度泡沫密封在火灾发生区域,阻断燃烧区内的氧源,并在一定程度上构成一个密闭空间,实现火灾扑救。高密度泡沫塑料具有快速扩张的特性,能够抑制 LNG 水蒸气快速蔓延,在水蒸气与火源发生碰撞后,能够降低水蒸气的辐射。其基本原则是,气泡的膨胀系数大约是 500:1,用气泡包住 LNG 池的表层,因为热量的增加,会使 LNG 的气化速率变得更大,而气化后的 LNG 蒸气通过气泡时,则会变得更高,并使其上升。因此,LNG 蒸气不会沿地表向外蔓延,从而减小蒸气的蔓延面积。若用气泡包覆液化天然气液体,则可降低液体中的火焰与液体之间的传热,将初期蒸发速率降至较平稳的水平,可有效降低火灾规模,并降低热辐射。

在开展 LNG 泄漏事故救援工作时,应该考虑到:

①普通 LNG 储罐发生泄漏事故的现场状况非常复杂,作业人员需要对泄漏部位、泄漏速度以及安全阀、紧急切断阀、液位计、罐体等安全附件的状况进行详细了解,并对警戒范围内的人员数量、地形地物、风向、火源及交通道路等进行详细的了解,对 LNG 扩散的范围以及有可能造成火灾或爆炸事故的风险因素以及后果进行详细的分析和估算;②按照现场条件及 LNG 泄漏的严重性,划定安全警戒区,并制定相应的应急救援计划,以排除隐患;③要在确保参加救援的人员安全的情况下,有组织有计划地进行救援,防止二次事故的发生。在救援现场,相关单位的工作人员要对整个救援过程中的每一个环节都要熟知并对救援现场进行实时监控,一旦发现现场的浓度含量达到爆炸浓度的临界值,并且在事故尚未完全被控制的情况下,要立即疏散排除危险的工作人员,确保营救现场的工作人员能够以最快速度疏散到安全区。

液化天然气储罐内出现气体初始燃烧时,要采取关闭放空的技术方法,并在切断燃料供应后,应用干粉灭火器或喷水进行扑救;如果不能实现关闭阀门和断流物料的隔离,则要对邻近的设备进行降温 and 防护,以避免灾害继续蔓延,并在做更多评价和论证后再做相应的处理。当与储罐有关的附件出现低温液体泄漏时,应立刻将上、下游的控制开关关闭,要优先利用固定的泡沫设施,并利用高倍数的泡沫来对集液池进行覆盖,或者让低温液体流动起来,这样才能对流淌火的蔓延范围进行控制,为更好地控制火势、实

施工艺措施提供良好条件。当火焰蔓延到很大的范围和很强的时候,需要对邻近的设备和设施进行冷却,以防止高温引发的连锁效应,并且要对冷却水的流动方向进行有效地控制,以避免与 LNG 的低温流动区域相接触,从而加快低温液态的汽化速度。

综上所述,LNG 储罐泄漏会出现各种突发情况,所以在事故应急处理时,现场救援人员必须要在具体的条件下,综合运用处理 LNG 泄漏事故有效技术措施,日常务必重视检查和维护,切实保证安全。

2.3 其他事故的处理措施

液化天然气泄漏后,冰冻伤害的波及范围随泄漏点的扩大而增大,而在泄漏点的非规则区,冰冻伤害对人员和工作人员都有一定的危害。如果出现冻伤,首先要及时把病人从寒冷的地方救出来,然后帮助受伤人员更换衣服。先用热水将受伤部位浸湿,再用软的毛巾进行按摩,再及时送医处理。如果工作人员整个身体都被冻结了,就必须立即帮助他脱去外衣,用被子来取暖,让他的身体在最短的时间内恢复到正常的温度,并把他尽快送到医院救助。一旦出现窒息事故,救护人员要迅速启动紧急预案,并要立即利用隔绝氧的保护装置,把被困人员送到有气流的地方,加强工作环境的通风,如果伤者已经发生了昏迷或者是呼吸暂停,需要立即进行人工呼吸和心肺复苏,进行有效的抢救后第一时间送医。

3 总结

LNG 储罐泄漏可能引发火灾爆炸、低温冻伤、麻醉窒息和高倍泡沫灭火等类型的事故,以及救援措施和注意事项。为了有效应对 LNG 储罐泄漏事故,需要制定科学合理的处置方案,具体包括气/液相泄漏处置措施和火灾处置措施等方面内容,在救援工作时需要注意现场情况复杂,操作人员需要查明现场情况并制定科学合理的处置方案。

参考文献:

- [1] 王博乔,张彬,林叶锦,曲衍旭,于佳航,李卓然.基于 RAdamBi-LSTM 的 LNG 动力船舶上甲板储罐泄漏后果预测方法 [J]. 中国航海,2023,46(02):60-66+73.
- [2] 黄绍华.浅谈 LNG 接收站与场外设施防火间距设计要点 [J]. 石油化工设计,2023,40(02):6-9+4.
- [3] 李少鹏.基于安全分析的 LNG 项目布置优化 [J]. 石油化工设计,2023,40(02):36-41+5.
- [4] 刘君军.LNG 储罐事故的危害及应急处置研究 [J]. 化工安全与环境,2023,36(05):73-75.