

# 液化天然气的泄漏与防护

高 露<sup>1</sup>, 梁光川<sup>1</sup>, 彭 波<sup>2</sup>, 杨连杰<sup>1</sup>

(1. 西南石油大学, 四川 成都 610500 2 西南油气田分公司重庆气矿, 重庆 400021)

**摘 要:** 液化天然气在储存和运输过程中有可能发生泄漏, 介于 LNG 固有的危险性, 研究 LNG 的泄漏问题具有重要价值。对 LNG 泄漏的危害及预防措施进行了探讨, 简要介绍了泄漏事故发生时的现场控制措施。LNG 泄漏的预防工作重点在于 LNG 工艺的安全设计。发生 LNG 泄漏事故时使用高倍数泡沫系统能够有效地控制泄漏程度, 同时设计围堰区对 LNG 的泄漏也能起到一定的防护作用。

**关键词:** 液化天然气; 安全; 泄漏; 预防; 控制措施

**文章编号:** 1006-5539(2008)01-0028-03 **文献标识码:** A

## 0 引言

液化天然气 (LNG) 作为一种清洁、经济的能源在世界能源体系中正取得日益重要的地位, 在储存和运输过程中的安全性也逐渐引起了人们的关注。LNG 的泄漏是 LNG 安全性的一个重要方面, 对 LNG 泄漏问题进行研究具有重要价值。

## 1 LNG 泄漏的危害性

LNG 具有低温、易燃、易爆、易蒸发、易扩散、易产生静电荷的特点, 因而一旦发生泄漏将十分危险。

### 1.1 火灾及爆炸

液化天然气发生泄漏后就会立即蒸发, 最初液化天然气比空气重, 在地面形成一个流动层, 随着时间的推移, 逐渐地吸收热量, 当温度上升到  $-110^{\circ}\text{C}$  时, 蒸气与空气的混合物在温度上升过程中形成一个比空气轻的“云团”。同时由于 LNG 温度很低, 其周围大气中的水蒸气被冷凝成“雾团”, 然后 LNG 再进一步跟空气混合。这个混合气的蒸气云一旦遇到火源就很容易起火爆炸, 并且迅速向蒸发的液池回火燃烧, 其爆炸极限为  $5\% \sim 15\% (\text{V})$ 。LNG 从液

态变化到气态其体积要膨胀大约 600 倍, 并且 LNG 燃烧时会立即产生大量的热辐射, 储罐及其周围其它设施都容易遭到热辐射的严重破坏。

### 1.2 低温冻伤

由于 LNG 是  $-162^{\circ}\text{C}$  的深冷液体, 一旦发生泄漏, 低温会对材料造成破裂和遇冷收缩, 从而损坏设备也可能导致更严重的泄漏。此外, LNG 还会对人体造成低温灼伤。

### 1.3 让人窒息

虽然 LNG 蒸气本身没有毒, 但其中的氧含量低, 如果大量 LNG 蒸气泄漏在空气中容易使人缺氧窒息。如果吸入纯净 LNG 蒸气而不迅速脱离, 很快就会失去知觉, 几分钟后便死亡。

### 1.4 冷爆炸

在 LNG 泄漏遇到水的情况下 (例如集液池中的雨水), 水与 LNG 之间有非常高的热传递速率, LNG 将激烈地沸腾并伴随大的响声、喷出水雾, 导致 LNG 蒸气爆炸。

### 1.5 其他危害

甲烷是大气中一种有破坏作用的温室效应气

收稿日期: 2007-05-29

作者简介: 高 露 (1982-), 女, 重庆万州人, 2005 年毕业于西南石油大学油气储运专业, 现为西南石油大学油气储运专业在读硕士, 主要从事 LNG 的储存和运输安全性方面的研究。电话: 13550076568

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

体, 对大气层的臭氧起着重要的作用, 据研究它使全球变暖的可能性是  $\text{CO}_2$  的 22 倍, 所以从环保的角度出发我们也要注意控制甲烷的泄漏。

LNG 泄漏也有可能引起触电及机械伤害事故。

## 2 LNG 泄漏的预防措施

### 2.1 LNG 工艺的安全设计

要对 LNG 泄漏进行有效的防止, 首先应该从设计阶段的工艺措施开始。其中比较重要的包括储罐、管线及消防系统的设计。

#### 2.1.1 储罐的设计

用于制造 LNG 储罐的材料最关键能满足 LNG 低温性能的要求。对于双层结构的储罐内罐不仅要承受 LNG 的低温, 又要承受介质的工作压力, 因此必须采用机械性能好又耐低温的材料, 常选用  $0\text{Cr}18\text{Ni}9$ 。外罐则可选用  $16\text{MnR}^{[1]}$ 。

储罐应该根据其容积设计合理的安全距离。美国防火协会标准 NFPA59 A 对 LNG 储罐的安全距离作有如下的规定<sup>[3]</sup>:

表 1 LNG 储罐之间的最小距离<sup>[3]</sup>

单个储罐 容量 / $\text{m}^3$	最小距离 / $\text{m}^{[3]}$	
	从储罐至区域边界	相邻储罐之间
< 0.50	无要求	无要求
0.50 ~ 1.90	3.0	1
1.90 ~ 7.60	4.6	1
7.60 ~ 56.8	7.6	1
56.8 ~ 114	15	1.5
114 ~ 265	23.0	
> 265	0.7 倍储罐直径, 但不小于 30 m	0.25 $(D_1 + D_2)$ 但不小于 1.5 m

注: LNG 储罐与办公室、车间等距离应在 15 m 以上。

LNG 储罐内的压力必须控制在允许的范围内, 压力过高或者出现负压对储罐都是潜在的危险。因此储罐内必须安装压力控制系统, 同时还应配备有压力安全阀和真空安全阀。压力安全阀防止储罐出现超压, 真空安全阀能感受当地的大气压, 以判断罐内是否出现真空, 产生负压。此外在储罐的液相管上应该设有紧急切断阀, 每个储罐两个, 以便在装置发生意外时切断储罐与外界的通道, 防止储罐内的 LNG 泄漏。储罐内罐设安全放空阀, 连通火炬; 外罐设泄压设施, 放空气体引至高点排放。

储罐在首次充注 LNG 之前, 或停止使用内部检

修后, 都需要对储罐进行净化处理, 用惰性气体将罐内的空气或天然气置换出来, 以避免储罐内存在空气与 LNG 的混合物而导致危险。隋化常用的气体是氮气或二氧化碳<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.2 管件及阀门

LNG 管件材料的选择同样要满足 LNG 的低温选择, 而且还要考虑材料的阻燃性能。同时由于 LNG 管道及管件内外表面接触的物质温度差较大, 设计管道及其支撑结构时应考虑到大温差和温度变化对材料性能的不良影响。因此, 需要对管道包裹防水, 隔热, 阻燃的隔热层, 对支撑结构采取措施, 防止因传热造成的管道结冰或支撑钢材脆化<sup>[5]</sup>。

设备和管道最容易发生泄漏的地方是法兰连接处, 因此在设计中尽量采用焊接管道和阀门。除管材不同, 设备连接或维修部位等必要处以外, 尽可能少使用螺纹连接和法兰连接, 工艺系统阀门应该同时满足输送 LNG 的压力、流量和低温的要求。此外, 还要注意焊缝质量, 应考虑焊接程序和焊条的选择。

#### 2.1.3 消防系统

LNG 站的消防系统一般包括消防水系统、干粉灭火系统、泡沫灭火系统和移动式灭火器材几个部分。

消防水系统由消防泵房、消防水池、消防管道及消火栓、消防水泡等组成。值得强调的是消防水是用来冷却设备而不是用来控制和扑灭火焰的。因为相对于 LNG 而言, 水是高温物体, 如果水与泄漏的 LNG 接触会提高其蒸发速率, 从而加快燃烧速度, 使危险性更大。水主要起着降温作用, 吸收和控制火灾产生的热量, 减轻热辐射对设备的影响, 降低设备的闪燃危险<sup>[6]</sup>。

LNG 装置的灭火系统一般采用干粉灭火和泡沫灭火两种。

##### 2.1.3.1 干粉灭火系统

干粉灭火剂是扑灭高压、大流量天然气火灾的最有效措施, 对泄漏量较少的火灾, 可以用干粉、二氧化碳、卤代烷灭火剂扑灭, 灭火后应立即切断气源, 阻止气体溢出, 否则可能复燃。

##### 2.1.3.2 泡沫灭火系统

采用高倍数泡沫灭火系统, 喷出大量泡沫覆盖在泄漏的上面, 减少来自空气的热量, 有效降低蒸气产生的速率, 减小可燃气体覆盖的范围。

### 2.2 安装监测装置

在可能产生天然气泄漏的区域以及储罐、气化

器等关键设备的适当部位均应安装监测报警装置;一旦有气体泄漏或发生火灾,才能及早发现并采取措施。

LNG站安装的监测装置根据所监测的对象不同一般可分为气体监测装置,火焰监测装置和低温监测装置三种。

气体监测装置主要是监测大气中甲烷的浓度,最常用的监测器基于发热电阻丝与不同气体含量的大气接触是其阻值将发生变化的原理。

火焰监测器有红外辐射和紫外线辐射监测器两种。红外辐射监测器装备有一个光电元件,利用红外线辐射改变其阻值的原理而起到监测作用。紫外线辐射监测器装备有一个石英管并供给交流电,通过光子的作用激发。

低温监测装置实质是一种温度传感器,利用LNG的低温性,一旦空气中有泄漏出的LNG时,敏感元件将会被降温。

报警装置内所有的探测信号均送入DCS系统。DCS为自动监视控制系统,有异常发生时及时报警并通过ESD(紧急停车)快速切断使各部设备处于安全状态。

### 2.3 加强日常安全检查与考核

LNG固有的危险性要求我们不仅要有合理的设计工艺和流程,同时也需要加强对设备日常的安全性检查和考核。日常安全检查内容主要有以下方面。

LNG储罐要检查外观是否清洁,是否存在腐蚀现象和结霜、冒汗等情况,安全附件是否完好等。

气化器应检查外观是否清洁,气化是否均匀,焊口是否有开裂泄漏现象,各组切换自动是否正常,安全附件是否正常完好等。

工艺管线应检查装卸车管线及储罐出液管线保温层是否完好,装卸车及出液气化过程中工艺管线伸缩情况是否正常,是否有焊口泄漏现象,工艺管线上的阀门特别是低温阀门是否有泄漏现象,法兰连接处是否存在泄漏现象,安全附件是否完好等。

## 3 发生 LNG 泄漏事故时的控制措施

### 3.1 围堰区的设计

为了减轻LNG在万一发生泄漏时产生的危害,在储罐周围应该设置围堰区。其作用在于LNG发

生泄漏时,限制其流动以防止进一步扩散。它可由储罐周围建造的防火堤、防护墙或者排液系统构成。围堰区一般用压实土、混凝土、金属等耐低温材料在建造,考虑到由于冬季积雪或其他原因可能导致围堰区蓄液能力下降等因素,其容积一般应大于储罐的总容积。

对于大型LNG储罐,也可以将储罐建在地下,使储罐最高液面低于地平面,同时储罐周围应建有防火矮墙,或者通过挖沟方式构成一个拦蓄区。

对于有可能产生泄漏的阀门,接头处应该设置挡板,防止LNG的喷射,下方则设置集液盘,收集泄漏的LNG并通过排液管引入集液池<sup>[7]</sup>。

### 3.2 蒸气控制

当LNG发生泄漏时,泄漏的低温液体与周围物体接触,将会产生强烈的气化,如果蒸气浓度过高就有可能引起火灾或爆炸。为了减小这种危险性,我们应该设法降低其蒸发率,同时加快蒸气的扩散速度。

使用高倍数泡沫系统是一个加快LNG蒸气扩散速度行之有效的方法。用高发泡覆盖泄漏的LNG能减少LNG的蒸发量,同时有效地向上驱散泄漏的气体,降低地面可燃气体浓度,从而降低了起火爆

炸的可能性。在防火堤或集液池表面采用绝热材料进行隔热也能有效地降低泄漏的LNG的气化率。同时可以在LNG的自由表面放置一些密度低、热容量小的材料,使其浮在液体表面,以减少液体表面直接与空气接触的面积。如果这些材料做成网络形状,还可以降低液体表面空气的流速。泡沫玻璃热导率低,不燃烧,在这种场合使用还具有很好的防火作用。

### 3.3 灭火控制

预防LNG泄漏后发生火灾首先应该严格控制火源,在高危区域任何火焰,高温热点以及可能产生火花的设备都应该禁止。发现LNG泄漏后应立即切断气源,控制泄漏。如不能有效控制堵住泄漏,可允许泄漏气体稳定燃烧,防止大量气体扩散造成二次危害。

此外还要对着火罐及邻近罐和设备进行冷却保护,固定式冷却设备失效时应迅速采用消防水泡等移动式设备进行冷却,避免储罐设备受热超压造成

(下转第38页)

倍,分析仪器的量程将扩大 20倍,在精度一定情况下,绝对误差高 20倍。ADA宜设置在尾气管线上,虽 CBA装置切换时对硫回收率降低产生干扰,但可在切换时将 ADA的控制信号保持 0.5 h左右,可消除干扰,使总硫回收率升高。

### 3.3 CBA循环的选择

CBA循环就是 CBA反应器再生和吸附态的切换周期,实际上是催化剂的“再生—冷却—吸附”的循环过程。笔者认为:提高 CBA工艺总硫回收率的最佳方式是改变循环中各阶段的相对时间关系。如果催化剂中能保留更多的硫磺就延长吸附阶段;若硫磺能更快地脱除,则可缩短再生段的相对时间,延长冷却的相对时间,从而提高整个周期内的硫磺回收率,同时也提高了总硫回收率。基于这个原理,在生产中进行调整,可得到最佳的切换时间。

## 4 CBA技术的应用前景

现今世界范围内硫回收工艺的发展趋势是通过最佳控制来提高硫回收率。对传统的改良 Claus工艺来说,CBA工艺是较佳的方案,四级 CBA工艺可以达到大于 99.2%的硫回收率。CBA工艺技术将继续成为世界上硫回收战略的一部分。

### 参考文献:

- [ 1 ] UPendra M B Douglas S C Richard JW. CBA Process Exceeds 99.3% Sulfur Recovery at India's Newest Refinery. Reliance Petroleum Company's Jamnagar Refinery [ J ]. Sulphur 2000
- [ 2 ] 中国石油天然气总公司.石油地面工程设计手册——第三册 [ M ].北京:石油大学出版社,1994:240