

液化天然气的危险性与安全防护

刘 勇

(河南中原绿能高科有限责任公司)

刘勇. 液化天然气的危险性与安全防护. 天然气工业, 2004; 24(7): 105~107

摘 要 LNG作为一种清洁、优质燃料已广泛应用生产与生活,但作为一种深冷液体,人们对LNG的低温安全性能却了解不多。为此,阐述了LNG的密度、温度、蒸发以及溢出与扩散等特性;列举了来自LNG的危险性:①储存过程中的沸腾与翻滚;②低温冻伤;③泄露;④低温麻醉;⑤窒息;⑥冷爆炸;⑦火灾。最后从工艺装置安全设计、可燃气体探测设施、事故切断系统(ESD)、消防水系统、使用泡沫控制蒸气扩散及辐射、人身安全保护、低温冻伤急救等方面,探讨了安全防护的方法与措施。

主题词 液化天然气 特性 危险 安全指南

LNG(液化天然气)是将天然气净化深冷液化而成的液体,它是一种清洁、优质燃料。LNG的体积约为其气态体积的1/600,故液化了的天然气更有利于远距离运输、储存,使天然气的应用方式更灵活、范围更广。

LNG从60年代开始商业化至今已有30多年的历史,随着天然气液化技术不断进步,液化成本比20年前降低了50%,大大增加了LNG与其他能源的竞争力,LNG成为了当今世界能源供应增长速度最快的领域。

国内LNG产业起步于上世纪90年代末,先后有上海LNG调峰站、中原油田LNG工厂投产,一批与中原LNG相配套的LNG应用工程也相继投入运行。而一批规模更大的LNG工厂和广东、福建、青岛等进口LNG接受终端也正在紧锣密鼓地筹建中。新疆广汇 $150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的LNG工厂在2004年即将投产。可以预见,未来数年内,LNG将广泛应用于工业和民用的各个领域。

1. LNG的基本特性

(1)组成

LNG主要成分为甲烷,另外还含有少量的乙烷、丙烷、 N_2 及其他天然气中通常含有的物质。不同工厂生产的LNG具有不同的组分,主要取决于生产工艺和气源组分,按照欧洲标准EN1160的规定,LNG的甲烷含量应高于75%,氮含量应低于5%。尽管LNG的主要组成是甲烷,但不能认为LNG等

同于纯甲烷,对它的特性的分析和判断,在工程实践中大都要用气体处理软件(工艺包)进行计算,以得出符合实际的结果。常用的计算软件有HYSIM和PROCESS II等。

(2)LNG的特性

密度:LNG的密度取决于其组分,通常为 $430 \sim 470 \text{ kg/m}^3$,甲烷含量越高,密度越小;密度还是液体温度的函数,温度越高,密度越小,变化的梯度为 $1.35 \text{ kg/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。LNG的密度可直接测量,但一般都通过气体色谱仪分析的组分结果计算出密度,该方法可参见ISO 6578。

温度:LNG的沸腾温度也取决于其组分,在大气压力下通常为 $-166 \sim -157^\circ\text{C}$,在一般资料上介绍的 -162.15°C 是指纯甲烷的沸腾温度。沸腾温度随蒸气压力的变化梯度为 $1.25 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}/\text{Pa}$,LNG的温度通常用铜/铜镍热电偶或铂电阻温度计进行测量,参见ISO 8310。

LNG的蒸发:LNG贮存在绝热储罐中,任何热量渗漏到罐中,都会导致一定量的液体气化为气体,这种气体就叫做蒸发气。蒸发气的组成取决于液体的组成,一般地,LNG蒸发气含有20%的 N_2 ,80%的甲烷及微量的乙烷,蒸发气中 N_2 的含量可达到LNG中 N_2 含量的20倍。对于纯甲烷而言,低于 -113°C 的蒸发气密度比空气重,对于含有20%氮的甲烷而言,低于 -80°C 的蒸发气密度比空气重。

LNG的溢出与扩散:LNG倾倒至地面上时,最

初会猛烈沸腾蒸发,然后蒸发率将迅速衰减至一个固定值,蒸发气体沿地面形成一个层流,从环境中吸收热量逐渐上升和扩散,同时将周围的环境空气冷却至露点以下,形成一个可见的云团,可作为蒸发气体移动方向的指南,也可作为气体空气混合物可燃性的指示。蒸气云团扩散是一个复杂的问题,通常采用 EVANUM 和 EOLE 模型来计算蒸气云团扩散的安全距离。

LNG 的燃烧与爆炸: LNG 具有天然气的易燃易爆特性,在 -162°C 的低温条件下,其燃烧范围为 $6\% \sim 13\%$ (体积百分比); LNG 着火温度随组分的变化而变化,重烃含量的增加使着火温度降低,纯甲烷着火温度为 650°C 。

熟悉理解 LNG 的基本特性,有利于正确认识来自 LNG 的危险和进行人身安全防护。

2. 来自 LNG 的危险性

(1) LNG 的储存

危险与 LNG 处于沸腾(或接近于沸腾)状态有关。在 LNG 贮槽中, LNG 处于沸腾状态,在 LNG 工厂的一些管道及液化工段末端,它接近于沸腾状态,外来的热量传入会导致气化使压力超高,致使安全阀打开或造成更大的破坏。

翻滚: 由于贮槽中 LNG 不同的组成和密度引起分层,两层之间进行传质和传热,最终完成混合,同时在液层表面进行蒸发。此蒸发过程吸收上层液体的热量使下层液体处于过热状态。当两层液体的密度接近相等时就会突然迅速混合而在短时间内产生大量气体,使储罐内压力急剧上升,甚至顶开安全阀。

为避免这种危险,应采取特殊处理的方法:①轻 LNG 从槽底进料,或重 LNG 从槽顶进料,或两者结合使用;②在槽内安装一自动密度仪以检测不同密度的层;③用槽内泵使液体从底至顶循环;④保持 LNG 的含氮量低于 1% ,并且密切监测气化速率。

(2) 低温冻伤

由于 LNG 是 -162°C 的深冷液体,皮肤直接与低温物体表面接触会产生严重的伤害。直接接触时,皮肤表面的潮气会凝结,并粘在低温物体表面上。皮肤及皮肤以下组织冻结,很容易撕裂,并留下伤口。粘接后,可用加热的方法使皮肉解冻,然后再揭开。这时如硬将皮肤从低温表面撕开,就会将这部分皮肤撕裂,所以当戴湿手套工作时应特别注意。

低温液体黏度较低,它们会比其他液体(如水)更快地渗进纺织物或其他多孔的衣料里去。在处理与低温液体或蒸汽相接触或接触过的任何东西时,

都应戴上无吸收性的手套(PVC 或皮革制成),手套应宽松,这样如发生液体溅到手套上或渗入手套里面时,就可容易地将手套脱下。如有可能发生激烈的喷射或飞溅,应使用面罩或护目镜来保护眼睛。

(3) LNG 的泄露

由于低温操作,金属部件会出现明显的收缩,在管道系统的任何部位尤其是焊缝、阀门、法兰、管件、密封及裂缝处,都可能出现泄漏和沸腾蒸发,如果不及时封闭这些蒸气,它就会逐渐上浮,且扩散较远,容易遇到潜在的火源,十分危险。可以采用围堰和天然屏障对比空气重的低温蒸气进行拦截。

(4) 低温麻醉

没有充分保护措施,人在低于 10°C 下待久后,就会有低温麻醉的危险产生,随着体温下降生理功能和智力活动都下降,心脏功能衰竭,进一步下降会导致死亡。对明显受到体温过低影响的人,应迅速从寒冷地带转移并用热水洗浴使体温恢复,不应该用干热的方法提升体温。

(5) 窒息

呼吸 LNG 低温蒸气有损健康,短时间内,导致呼吸困难,时间一长,就会产生严重的后果。虽然 LNG 蒸气没有毒,但其中的氧含量低,容易使人窒息。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。当空气中的氧含量逐渐降低,操作人员没有一点感觉,也没有任何警示。等意识到,则为时已晚。

窒息共分为以下 4 种情况。

1) 第 1 种情况:含氧量 $14\% \sim 21\%$ (体积含量,下同),呼吸、脉搏加快,并伴有肌肉抽搐。

2) 第 2 种情况:含氧量 $10\% \sim 14\%$,出现幻觉、易疲劳,对疼痛反应迟钝。

3) 第 3 种情况:含氧量 $6\% \sim 10\%$,出现恶心、呕吐、昏倒,永久性脑损伤。

4) 第 4 种情况:含氧量低于 6% ,出现痉挛、呼吸停止,死亡。

通常,含氧量 10% 是人体不出现永久性损伤的最低限。相对应,正常空气中含 52.4% 的甲烷,其氧含量是 10% 。因此,敬告大家不要进入 LNG 蒸气中。

(6) 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。这个现象类似水落在一块烧红的钢板上发生的情况,可使水立即蒸发,为避免这种危

险,应定期排放集液池中的雨水。

(7)火灾

LNG 蒸气遇到火源着火后,火焰会扩散到氧气所及的地方。游离云团中的天然气处于低速燃烧状态,云团内形成的压力低于 5 kPa,一般不会造成很大的爆炸危害。燃烧的蒸气就会阻止蒸气云团的进一步形成,然后形成稳定燃烧。

3. 安全防护

(1)工艺装置安全设计

LNG 装置的本身的可靠性是保证 LNG 设施安全运行的重要前提,因此遵循标准和规范进行设计是十分必要的。NFPA59A 和 EN1160 是 2 项权威性的标准,可以参照使用。

(2)可燃气体探测设施

在白天,可通过目测的方法来探测可见的蒸气云团,但是在晚上,就不再适用了。通常,工厂都装有大型的可燃气体探测器,传感器都置于易发生泄漏的地方。当传感器探出蒸气—空气的浓度达到下限的 20%时,就通过报警传到控制室,操作工能及时采取相应的控制措施进行处理。当蒸气—空气的探测浓度达到下限的 60%时,就会自动全厂停车。因此,连续的自动探测系统在这方面比人工探测具有更大的优势,因为它们比人工探测更准确可靠。

(3)事故切断系统

LNG 设施应包括事故切断系统(ESD),当该系统运行时,就会切断或关闭 LNG、易燃液体、易燃致冷剂或可燃气体来源,并关闭继续运行将加剧或延长事故的设备。ESD 系统应具有失效保护设计,当正常控制系统故障或事故时,失效的可能性应该最小。

(4)消防水系统

使用带水位控制器的水幕或手握软管喷水使 LNG 蒸气云团改道,避免风将蒸气团移向会点燃该蒸气团的运行设备,但同时,水也会给蒸气带来额外的热量,造成云雾更快地浮动并向上扩散。

在有火灾的情况下,为了避免热辐射,一些设备需要大水作保护。在处理 LNG 失火时,推荐使用干粉(最好是碳酸钾)灭火器,注意任何情况下不要在 LNG 储槽的大火中使用水,水会增大气化速率因而会将火焰高度增大 6 倍,辐射热增大 3 倍。

(5)使用泡沫控制蒸气扩散及辐射

泡沫迅速膨胀,可阻止 LNG 可燃蒸气的迅速扩散,并且在蒸气遇到火源着火后,可减少辐射量,泡沫的膨胀率约为 500:1。将泡沫覆盖在 LNG 池表面,由于热量增加,会使 LNG 的气化率增大,气化后

的 LNG 蒸气穿过泡沫,温度升高,向上飘浮。这样,LNG 蒸气就像缕缕烟雾一样向上浮而不会沿着地面扩散,从而大大减少扩散区。如果是将泡沫覆盖在燃烧的 LNG 池上,就会降低气化率,从而减小火势。热辐射量也就会随火势的减小而减少。

(6)人身安全保护

如果要接触低温气体、低温液体,则必须戴上防护面罩,戴上皮革手套,穿无袋的长裤及高筒靴(把裤脚放在靴的外面)、长袖的衣服。在缺氧条件下,需戴呼吸设备。面罩要求在低温下不会碎裂,衣物都要求由专门的合成纤维或纤维棉制成,且要求尺寸宽大,以防止低温液体溅落在衣物上,冻伤皮肤。

决不允许人员进入 LNG 池或 LNG 喷射物中,因为这些防护用具不能确保安全。只有不存在着火源且需紧急操作时才能进入 LNG 蒸气中。

工厂人员在灭火时,如穿的是易燃材料做成的工作服,则工作过程非常危险。由于热辐射,工作人员应穿由特殊保护材料制作的工作服,如消防人员防火服。

(7)低温冻伤急救

发生冻伤时应该用大量温水(41~46℃)冲洗皮肤冻伤处,不可使用干燥加热的方法,应将伤员移至温暖的地方(约 22℃)。如果不能得到立即诊治,就应刻不容缓地将伤者送至医院。

4. 结束语

尽管 LNG 被认为是一种非常危险的燃料。但是,从 LNG 产业几十年的发展历史来看,LNG 产业具有良好的安全记录,比汽油、LPG、管道天然气的安全性好。但这并非说 LNG 就不危险,关键是能否掌握来自 LNG 的特性和危险来源,是否按标准和规范去设计、施工、运行及管理。鉴于 LNG 在国内还不被人们所熟悉,笔者以 EN1160、NFPA59A 与 GB/T19204—200 等标准为基础,并参照法国 SOFREGAZ 燃气公司关于中原 LNG 工厂的初步设计,阐述了来自 LNG 的危险和安全防护知识,希望有助于对 LNG 的安全正确使用。

参 考 文 献

- 1 EN1160 液化天然气装置和设备:液化天然气的一般特性
- 2 NFPA 59A 液化天然气生产、储存和装卸标准
- 3 GB/T 19204—2003 液化天然气的一般特性

(收稿日期 2004-02-04 编辑 居维清)