

# LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用探讨

刘艺峰 吴文林（贵州燃气集团股份有限公司，贵州 贵阳 550001）

**摘要：**液化天然气一直以来都是国内外天然气在开发过程中常见的形式之一，这一种天然气使用模式不仅能够确保在城市燃气系统的储运过程中提高天然气储运的整体质量，与此同时，能更灵活的满足城市不断增长的用气需求。特别是在液化天然气生产技术不断前进的当前，其开采技术愈发成熟，液化天然气在城市燃气系统中的应用也愈发广泛，而 LNG 的气化关系到整个场站的安全平稳运行，以及对城市燃气系统的供气能力，是整个利用过程极其重要的一步。本文的主要目的就是分析 LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用。

**关键词：**LNG 气化装置；城市燃气系统；应用探讨

由于我国当前处于城市能源形势相对紧张这一大背景，液化天然气的使用更加灵活，更有利于实现多能互补，推进液化天然气的利用需要对液化天然气的应用原理、特性等进行分析。同时，也需要对其利用的工艺以及设备进行分析研究。

## 1 液化天然气的特性

液化天然气是天然气中常见且典型的一种，也是我国在天然气储运过程中最为重要的一个类型。液化天然气是指在天然气冷却过程中，基于一定温度进而形成液态的天然气为了更好地了解液化天然气气化装置在使用时的使用效果，首先要了解液化天然气自身的物理、化学特性，天然气在大气冷却至  $-162^{\circ}\text{C}$  会直接由气态转化成为液态，转变成为 LNG。LNG 体积与同样体积的天然气会有着明显的减小，仅仅是同样气态天然气体积的  $1/600$ ，而重量则是同体积水的  $45\%$ ，热值为  $548 \times 108\text{J/t}$ 。LNG 的物性参数与其组分含量有着密切的关系，在常压的情况下，LNG 的沸点在  $-166^{\circ}\text{C} \sim -157^{\circ}\text{C}$  之间，而密度则是在  $430\text{kg/m}^3 \sim 470\text{kg/m}^3$ 。与普通天然气相比较，液态天然气无论是在体积或是重量上都有着明显的降低，但是基于化学构成的角度进行分析能发现液态天然气仍旧是以甲烷作为最主要的成分，其中还包括了丁烷、丙烷、氮气等气体，液化天然气相比普通天然气而言性能更加优良，并且方便存储、运输，调峰也更加容易。

## 2 LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用原理及分类

### 2.1 LNG 气化装置的应用原理

与管道天然气相比，液化天然气多了 LNG 气化这一重要工艺。气化装置是液化天然气利用的关键，由于液化天然气超低温等物理性质，无法直接

向城市燃气管网供给使用，需要经过 LNG 气化工艺，气化为可以供城市燃气终端设备直接使用的气态天然气。LNG 的气化过程是以沸腾换热为主的传热传质过程。LNG 在翅片管内流动吸热气化，以达到 LNG 泡点。泡点是指液相段与气液平衡段分界点。当 LNG 达到泡点温度时，液体开始沸腾气化，最终达到气相与液相平衡。随后气相中各组分所占比例随时间不断变化，并趋近于原料 LNG 中各组分所占比例，最终气体中各组分比例与原料 LNG 中各组分所占比例相同，达到露点温度。露点是气液平衡段和气相段的分界点，泡点和露点是气化器传热的关键参数。而 LNG 气化器换热介质主要有空气、海水、河水、蒸汽等。换热媒介的选择需要结合项目实际情况，城市燃气系统中的 LNG 气化器主要都是小于  $50\text{t/h}$  的空温式气化器和水浴式气化器。

### 2.2 LNG 气化装置的种类

按其结构划分，常见的 LNG 气化装置有空温式气化器、开架式气化器、水浴式气化器、浸没燃烧式气化器、在城市燃气中常用的 LNG 气化器有水浴式气化器和空温式气化器。

#### 2.2.1 空温式气化器

空温式气化器 LNG 空温式气化器即为空气源式气化器（AAV），在使用的过程中，LNG 气化装置依靠自身显热和吸收外界环境热量与超低温液化天然气进行换热而实现气化功能的，换热设备时期核心部分，通过尽可能小的设备向有限的空间环境中获取最多的热能，是 LNG 气化装置实现良好气化供能的核心。目前广泛使用的气化器采用防锈铝合金翅片管，通常铝合金翅片管中心有中心管，管外围有不同数量的外展翅片，液化天然气在

管内流动,管外围的翅片吸收外界环境热量,并与管内液体实现热量交换,使管内液化天然气从液态变为气态。LNG 气化装置的通过吸收热量将超低温的液化天然气变为 0℃ 以上的气态天然气,然后输入城市燃气管网。AAVs 是由翅片管按照一定的间距并联而成的,一般是单程式,实际运行中的 LNG 空温式换热管一般较长,为了进一步增大空气侧的换热面积,在换热管的外侧加装翅片。8 翅片星型翅片是目前最常用的,除此之外,还有 12 翅片与 4 翅片结构。在使用的过程中,由于制造成本和运行成本也很低经常作为 LNG 卫星站(指在中小城市及距离气源地较远的小型天然气接收站和气化站)内的主气化器。缺点是换热效率低,对环境温度很敏感,冬天易结冰,在我国北方使用受到一定的限制:同时占地面积大,在土地资源少的区域也受到限制。

### 2.2.2 水浴式气化器

水浴式气化器是以水为热媒的气化器,在大型 LNG 接收站中,开架式气化器 ORV、浸没燃烧式 SCV 气化器以及管壳式 STV 气化器中以海水 IFV 为热媒的气化器,均属于水浴式气化器。在 LNG 卫星站中,水浴式气化器主要包括电加热式、燃料燃烧式等,它具有传热效率高,结构紧凑,占地面积小等优点。但水浴式气化器采用特质高效电加热器,一般 24 个月需要更换。

液化天然气从储罐经工艺管道流向 LNG 气化装置化为气态天然气时,其气化效果受环境温度的影响非常大。在夏季,环境温度较高经空温式气化器气化的天然气,出口温度可达 15℃ 以上,可直接输入城市燃气管网供终端设备使用。而在冬季或雨季,随环境温度降低,空温式气化器气化效率大大降低,尤其是在寒冷的北方,冬季时空温式气化器出口天然气的温度(比环境温度低约 10℃)远低于 0℃ 而成为低温天然气,因此空温式气化器气化后的天然气还需再经水浴式加热器将其温度升到 10℃ 以上,然后再送入城市输配管网。为了保证设备的安全平稳运行,在条件允许的情况下通常设置两组空温式气化器组,一边相互切换使用。当一组工作负荷太大,使用时间过长,气化器产生严重结霜,导致气化器换热效果不佳,出口温度达不到要求时,可以切换另一组使用,保证正常的生产运行,不影响下端城市燃气用气。

## 3 LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用安全

LNG 气化装置的选择主要考虑气化能力、适应

性可靠性、使用环境、经济性等,LNG 城市燃气系统采用无耗能的空温式气化器最多,在部分气化能力不足的情况下会考虑设置水浴式气化器。天然气使用过程中,最为重要的一点就是高度重视天然气在使用时的安全问题,与普通天然气一样,液化天然气也具有火灾、爆炸、窒息的特性,同时还具有超低温的特性。特别是在气化过程中,温度升高,体积膨胀,对 LNG 气化装置的安全应进行管理,并采取以下措施:

### 3.1 出气温度监控

“低温储存,常温使用”是 LNG 气化站的工艺特点,LNG 气化器前端的工艺设备设计温度应低于 -160℃,工艺管道及设备采用不锈钢材质,而在 LNG 气化器后端通常连接着铸铁工艺管道、阀门等设备及组件会逐渐过度为铸铁,由于铸铁随着温度降低,强度增加韧性下降的特性,换热不充分的低温天然气可能对设备和工艺管道造成开裂的风险。在 LNG 气化设备高负荷运行的情况下很难同时保证出气温度与供气量,这时建议通过信息技术手段,实时监控 LNG 气化器出气温度,一旦温度高于设定值应有气动阀门自动切断 LNG 气化器前端工艺管道,保证后端设备安全,避免发生开裂及更严重的设备事故。

### 3.2 避免 LNG 气化区白雾形成

首先,LNG 液体达到 -190℃ 的超低温,一旦发生泄露会在周围环境中瞬间产生大量白雾,异常大量白雾的突然产生,应当首先排除 LNG 漏液。这是突发状况,更为常见白雾则是发生在 LNG 气化区。LNG 气化器从环境中吸收热量,气化器周围水分温度下降凝结成白雾,在气化器长时间运行、环境通风不良的情况下,白雾会在气化工艺区以及下风向的工艺区汇集,白雾堆积首先是会降低 LNG 气化器工作效率,其次影响工艺区视线,造成安全隐患。避免这一隐患的发生首先是在设计场站时,应避免 LNG 卸载区、充装区等工艺区域处于 LNG 气化区的常年风向下;其次,在运行过程中遇到空气对流不畅的情况,应及时采取外部辅助通风,加强 LNG 气化工艺区空气流动,避免白雾形成堆积。

### 3.3 定期设备巡检

LNG 气化器设备本社以及工艺管道的连接采用焊接,在工艺关键自身存在法兰连接,因为 LNG 气化器启停温差变化高达 190℃,设备材料热胀冷缩较大,需要特别的进行巡检和维护,首先巡检通

过外观检查,焊缝、法兰连接处出现大量结冰则需要采用燃气检漏仪进一步确认设备是否发生泄露。焊缝、法兰连接垫片都是泄露高发的位置,定期巡检有利于及时发现安全隐患,采取进一步安全防范措施。

### 3.4 LNG 气化装置的应用的其它安全隐患

为了更好地探究 LNG 气化装置在使用时的效果,需要选取相关案例进行分析。本主要利用西宁 LNG 的安全技术进行探索,在进行探索之前就要了解 LNG 的特性,与此同时也需要考虑到 LNG 的特性与工程安全密切相关。在应用 LNG 气化装置时,不仅要考虑到液化气体本身所具有的易燃、易爆炸这特性,与此同时,还需要进一步地将其中的物理特性进行深入思考。

#### 3.4.1 避免气化装置基础冻裂

在 LNG 气化装置使用的过程中,很难避免会有结霜和结冰的情况发生,在实际应用中,因为 LNG 气化器工作时形成的雾气比空气中,沉积在较低处,时有发生气化器基础冻裂,钢筋外漏等情况,对 LNG 气化器的安全平稳运行造成安全隐患。为避免这一问题发生,在设计和建设时,应提前考虑用抗冻性能较强的水泥,从建造过程本身避免基础发生冻裂。对于已经建成的设备基础,在设备停运或者负荷较小的季节,可以考虑对 LNG 气化设备基础进行外防水处理,避免 LNG 气化装置结霜或结冰化水的水分浸入设备基础,从而避免设备冻裂。

#### 3.4.2 避免 LNG 气化装置翅片变形

实际应用中,特别是西南片区冬季长时间高负荷运行的 LNG 气化装置普遍存在结霜现象,考虑地区、温、常年风向和季节变化在内,各种气化器的结霜面积大约占总面积的 60%~85%。霜层在气化器表面翅片的沉积增加了冷壁而与空气间的导热热阻,减弱了传热效果,同时,霜层的生长产生的阻塞作用大大增加了空气流经过化器的阻力,造成气流流量的下降,使汽化器的换热量大大地减少,严重的时候形成冰块,为了不影响向下游城市供气,通常会采用人工除霜的方式保证 LNG 气化器的工作效率,人工除霜通常会用防爆工具铲除气化器表面冰霜,因为气化器表面的翅片通常为铝合金,翅片厚度较低,强度较小,被硬物打击很容易出现变形,甚至破损,将永久性影响设备工作效率。因此,设备不超负荷运行,不长时间高负荷运行,是避免这一问题发生的最好方法。

## 4 结语

综上所述,近几年,有关液化天然气使用技术在不断成熟,液化天然气装置本身的应用范围也越来越大,液化天然气在城市的燃气系统中使用的质量也会随之提升,而 LNG 气化装置的应用是决定液化天然气利用推广的重要因素,随着液化天然气的利用将进一步在城市燃气中得到提升,也将得到更加安全高效的利用。

### 参考文献:

- [1] 杨帆,李康.两相流传热模型在 LNG 加热气化装置中的研究[J].农业装备与车辆工程,2021,59(09):86-89.
- [2] 张少增.浮式 LNG 储存及再气化装置(FSRU)浅析及国内应用推广展望[J].石油工程建设,2018,40(02):25-28.
- [3] 杨柳,朱科.LNG 装置内气化过程中气液两相流动现象研究[J].煤气与热力,2017,37(12):11-15.
- [4] 张拼.LNG 浮式气化装置(FSRU)组块设计[J].石油工程建设,2020,46(03):33-37.
- [5] 张宗强.W 公司浮式 LNG 接收站中国市场推广策略研究[D].上海:上海交通大学,2019.
- [6] 苏艳明.浮式 LNG 接收终端技术与应用研究[J].化工管理,2018(21):151-152.
- [7] 王晖.试析 LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用[J].中国石油石化,2017(08):135-136.
- [8] 严平,刘勤,张歆悦,曹伟武.新型 LNG 快速气化装置应用试验[J].天然气工业,2016,36(12):108-112.
- [9] 吴慧峰,船用 LNG 再气化装置系列产品关键技术研发及产业化[Z].江苏省:南通中集太平洋海洋工程有限公司,2016-12-01.
- [10] 徐海峰.浮式储存再气化装置冷能利用系统设计及经济性[J].船电技术,2020,40(11):17-20.
- [11] 郑威,杨辉.城市燃气系统中液化天然气(LNG)气化装置的应用探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2012,33(010):72-72.
- [12] 张金旺.城市液化天然气(LNG)气化装置的应用探讨[J].科研,2016(01):6-6.
- [13] 史徐武.LNG 气化装置在城市燃气系统中的应用研究[J].科技资讯,2013(24):2.
- [14] 高重建.液化天然气(LNG)在浙江省城市燃气中的应用研究[J].城市燃气,2005(10):5.
- [15] 董亮.城市液化天然气(LNG)气化装置的应用探讨[J].城市建设理论研究:电子版,2013(04):1-3.