

# 液化天然气LNG生产制备存储运输工艺技术及 设备装置方法研究

郝琼

陕西延长石油天然气股份有限公司

**[摘要]** 在经济的牵引下,天然气需求增大,NG生产制备存储等工艺备受关注。研究表明,天然气使用阶段热值较高,同时性能表现为无污染且安全,正是因为这样的特性,天然气被广泛应用。不仅在民用设备中天然气应用较多,即使在工业生产中,天然气也是主要能源来源。结合现实了解到,天然气空间体积上优势明显,单位体积热值高,制备存储运输要求严格。基于此,本文将围绕液化天然气生产制备,探讨有效的应用方法,希望借此为液化天然气安全使用提供参考。

**[关键词]** LNG生产制备; 工艺技术; 液化天然气; 设备装置

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2508

研究发现,天然气以甲烷为主,其开采运输需要借助管道建设,在实际运用中要通过高压来控制完成天然气输送,维护和使用风险大。相比之下,液化天然气的体积小,所以产品运输更有优势。但由于主要成分甲烷沸点较低,常温状态下想要对其加压液化基本上不可能,需借助先进工艺技术,完成高水平的液化处理,因此设备装置方法十分重要。

## 一、LNG的发展现状概述

由于需求的加大,天然气液化处理技术早在19世纪50年代就有了突破,经过半个世纪的研究,技术越来越成熟。从现实了解到,天然气液化工艺大体可分割为两种,一种为阶式制冷;还有一种为混合冷剂制冷。研究发现,这两种天然气液化工艺,均有各自应用范围,但对应使用的天然气液化设备,不仅规模大,而且工艺复杂<sup>[1]</sup>。随着研究的不断推进,最新研发的CII-2工艺,表现出功耗、控制成本、操作工艺优化的多位一体,每个方面都有了进步。

LNG的研究始于19世纪60年代,结合国家科委的发展规划,获得了突出的研究成果。在我国境内,天然气液化分离装置最先的试验点是在四川,液化处理基础操作是天然气中提取氨,LNG不被重视,仅作为副产物被生产。后来LNG被用作火箭燃料使用,但天然气液化技术水平低,设备小型化明显,同时产能不高,这也导致液化天然气的使用有较大局限。

## 二、有关LNG的核心技术探讨

LNG制备包含众多工艺,除了生产制备工艺外,还涉及设备装置、储存运输等。

### (一) 液化天然气的工艺

现实应用中天然气液化工艺主要有三种:第一种,级联式制冷工艺。这是一种先进工艺,该工艺主体结构特殊,主要应用对象是负荷型天然气液化,在工艺实施阶段,其工艺流程相对简单,由三级制冷循环组成。其中应用普遍的阶式制冷工艺性质上就属于该工艺的一种。研究表明,该工艺技术优势突出,有着能耗低的特征,中途使用的制冷剂为纯净物。第二种,混合制冷工艺。该工艺属于新发展演变来的,基础是阶式工艺,通常情况下需借助烃类混合物(例如:C3、C4、C5等)作为制冷剂,在实际应用阶段代替多个纯组分(阶式制冷工艺中组分)。应用中制冷剂,需考虑原料气的情况,借此得到不同温度级且性能稳定的LNG。在操作中,需根据制冷剂性质,选择匹配的制冷工艺。第三种,膨胀制

冷工艺。现实应用中,该工艺较为特殊,原料气的自身压力是主要动力,通过压力调节,获得制冷所需能量<sup>[2]</sup>。现实中,由于LNG的液化率起伏不定,和膨胀比有着关系,所以需要降压的气源,原理上可采用膨胀制冷进行处理。

### (二) 液化天然气预处理

结合现实经验可知,液化天然气LNG制备前想要达到效果,必须对气体实施预处理,只有这样,才能提高LNG纯度。天然气原料气开采后,会夹杂着二氧化硫、汞、水等,这些物质属于重烃类杂质,在现实反应中一旦进入到液化工艺,许多杂质就会沉积堵塞管道,或造成严重管道腐蚀。天然气开采场不同,原料气的情况自然存在差异,在这样的情况下,需借助天然气液化处理,精准实施工艺选择,并完成不同指标制定。

#### 1. 脱碳系统

结合现实经验可知,二氧化碳在液化阶段易形成化学反应,主要生成物是干冰。如果干冰大量形成,势必会堵塞管道,造成严重隐患。为满足低温工作要求,现实中采用的天然气想要稳定发挥作用,需经过脱碳系统净化处理,将二氧化碳的体积分数运用科学方法降低,使其低于 $50 \times 10^{-6}$ 指标,同时硫化物的体积分数也要有效控制,最好低于 $4 \times 10^{-6}$ ,原则上硫化物总质量浓度这一参数要低于 $10 \text{mg/m}^3$ 。为达到理想脱除效果,工厂脱碳单元需借助MDEA+活化剂技术,将其作为主要脱除技术,同时实现MDEA和水配比,在此基础上制定出混合溶液,借此满足MDEA为40%的指标要求。此外,在整个反应中活化剂要达到5%。

#### 2. 脱水系统

从现实研究了解到,天然气液化的温度低,可防止水分析出。因为温度下降,使管道和仪表阀门出现不同程度冻堵。同时经研究发现,由于有液态水的存在,压力管道受腐蚀威胁比较常见,如果威胁无法消除,就会弱化相关器件工作性能,从源头加大应力腐蚀。基于此,需采取深度脱水方式,确保水分脱除干净,天然气中含水量合理降低到 $1 \times 10^{-6}$ 。

正常生产中,吸附、再生、冷吹缺一不可。双塔之间的切换想要保证顺畅和严谨,就要辅助先进技术。例如:借助DCS时序程序,便可以优化操作性能,完成高精度的控制,将隐患合理消除,并确保循环周期要求达标。除此之外分子筛再生要特别管制,采用降低压力的思路,在综合作用下提高现实温度,确保实现吸附床再生效果。在实操中,再生气经

过换热器（重要介质）将温度提高至280℃，当达到温度标准后，相关物质会自下而上通过分子筛，在此前提下使水分脱附，保障干气良好的质量。再借助冷吹等工序，强化分子筛热量散失效果<sup>[3]</sup>。

### 3. 脱汞系统

在现实应用中，脱汞系统作用显著，增设脱汞系统是为了提升生产可靠性，高效利用装置，提高天然气工艺装置利用率。具体表现为：在液化天然气实践处理中，会因换热器应用（铝制板翅式）受到汞作用腐蚀影响，从而促使汞含量不达标，出现风险隐患。针对这种情况，需使用载硫活性炭（重要介质），高效实现脱汞处理。实际处理中为确保效果，需将活性炭视为优质的载体，保持其均匀分布状态，只有这样，后续反应效果才理想。活性炭中的反应物在此期间会与汞发生接触，从而产生剧烈反应，在反应条件下生成汞齐。研究表明，该生成物性质稳定，能保障单质汞有效分离，在技术保障中，会存在于反应载体中，实现对汞的脱除处理。

### 4. 脱苯脱重烃系统

除了上述系统外，脱苯脱重烃系统也要引起重视。实际操作中，为防止低温冻堵，两种物质含量（进冷箱的）应控制在10ppm的指标下，基于此，LNG装备设置需参照芳香烃和重烃科学指标进行设计。在实际操作中，可持续优化吸附流程，选用孔状纳米级材料，借此强化吸附效果。正常操作下，需要双塔的配合，一个塔处于吸附状态，收集主要介质；另一个塔处于再生以及循环冷吹状态。实践表明，为了实现双塔之间自由切换，在两者控制程序上需采用DCS系统，精准完成开启与切断阀操作，确保循环周期为16小时。脱苯脱重烃系统实现原理与脱水系统相同。

## （三）液化天然气储存运输

### 1. 储存系统及装车系统

液化气的优点鲜明，在于通过多种运输途径完成优质运输，相比之下，其运输储存成本低。结合现实工作可知，液化气储存技术除了有优质的压缩、液化以及吸附存储外，还包括了溶解天然气等。现实生产中，专用的LNG罐式集装箱是主要运输工具，负责将成品的液化天然气按照合理方法运输到目的地。实践表明，罐式集装箱运输比较可行，依靠其装载天然气，可满足灵活使用、储存方便等要求，同时集成了运输便捷等众多优势。

LNG自液化装置进液可通过储罐上、下部同时注入。在具体应用中，进液方式选择并不是任意和随机的，通常情况下需根据液体状态（储罐内液体）、参数，例如密度和温度等进行确定。在存储期间，要保证进罐LNG充分混合储罐内的LNG，实现气体的融合，借此合理规避罐内液相产生分层，从源头将“翻滚”现象制止，利用上述处理思路，保持低温储罐运行状态，提升其安全性。经实践表明，在运输存储期间LNG储罐需通过精心设计外置两台离心泵，同时在重要的泵出口完成高度匹配的回流管线精心设置，借此重新规划罐内LNG的注入路径，在上述操作基础上将LNG保存到储罐内（经装车泵），确保储罐内LNG充分混合，借助这一技术原理减小LNG分层现象。除此之外，气相返流管线会发挥作用，连接储罐内气相空间，在连接到同时平衡槽车内的压力，在比较平稳的压力状态下确保液相充满率达标，让装车速度趋于理想

[4]。

### 2. 液化及混合冷剂循环

实践表明，冷剂循环技术支持下，会提升液化处理水平，强化实践应用效果。围绕天然气工艺处理标准，可借助预处理系统完成物质的针对性处理，例如：二氧化碳和水，确保它们能够达标。现实应用中，板翅式换热器作用突出，是整个环节的重要支撑，在气液分离器帮助下，核心区域可形成液化区，在规划出液化区的同时，还要用珠光砂填充箱体，借助这样的分割思路，保持冷量不流失，隔绝外界空气。实际操作中，天然气的预冷处理需要在预冷换热器中进行，正确操作是将温度冷却至-50℃，当温度达到后，精准除去重烃组分，为液化提供保障。

此外，入口分离器优势突出，会对混合冷剂处理，在处理阶段确保压缩机、水冷却器发挥作用，进而实现有效分离（液体和气体），将产生的气体在特殊环境中进行压缩。实践发现，在预冷器预冷阶段，可对泵流实施精细化处理，确保天然气使用达到冷量的标准。借助预冷换热器，对气相进行冷却处理，进而得到所需的冷量。

## 三、生产工艺设备探讨

液化天然气LNG处理的关键设备众多，冷箱、低温储罐等均是必不可少的，同时还要有活塞式、离心式压缩机的辅助。在天然气液化体系中，换热器是主要设备（冷箱中的），肩负着重要使命。一般情况下，液化换热设备的选择，要满足以下条件：（1）设备的传热效率需达标，确保良好的导热性，借此提高液化率；（2）设备整体设计需紧凑，通常情况下，换热器比表面积大小是重要指标，关系着换热效率；（3）在应用中，换热器核心部件材料需要符合要求，一般材料有铝合金和性能稳定的复合材料等。无特殊要求下，换热器要确保气-液、液-液等顺畅交互，借此满足不同需求，保障错流、多股流等情况良好。（4）考虑原料气的情况，在实践环节中要细致控制检修成本。

LNG储罐作用显著，选用LNG吊压储罐效果积极，通过双层壁，平底的储罐设计，外加固定顶拱盖结构，让液压天然气LNG始终保持理想状态。

## 四、结束语

研究发现，天然气液化工艺应用价值高，在使用中为确保效果，需考虑实际应用情景的不同。当前在科技引领下，设备器件不断地更新，性能更加平稳，而天然气的需求量也在逐年增加，应用前景较为广阔，基于此，需要从业人员持认真态度，进行深入研究，将LNG生产存储运输工艺及设备装置推向全新的高度，推动天然气事业持续发展。

### 参考文献

- [1] 景美波, 李相环. LNG接收站安全生产风险分级管控体系建设研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 41(23): 5-6.
- [2] 赵旭. 全球LNG贸易资源供应新趋势及中国能源企业LNG业务发展建议[J]. 国际石油经济, 2020, 29(10): 82-89.
- [3] 彭尧, 陈宇. LNG生产工艺安全风险评价研究[J]. 科技资讯, 2020, 19(26): 38-42.
- [4] 王子祺, 张天雨, 李金科, 等. 物联网分布式LNG智慧生产供应系统软件开发[J]. 电子世界, 2020(16): 21-22.