

# 液化天然气装置净化与液化工艺关键技术及经济性分析

高海浪 魏建岗 (延长石油天然气股份有限公司, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 液化天然气技术实际上就是指在常压、零下162℃的状态下进行深冷处理, 通过改变天然气状态使得能源存储体积缩小, 提高后续管道运输及存储环节的安全系数, 便于天然气的存储、运输及使用。在开展天然气液化作业前, 相关工作人员需要剔除原气中的杂质与水分, 以此提升天然气质量, 保证其满足现有能源使用规范标准。文章从液化天然气装置概述入手, 分析液化天然气净化技术、液化方案比较及工艺技术, 以及液化天然气净化工艺经济性与发展趋势, 从而进一步提高能源使用效益。

**关键词:** 液化天然气装置; 净化与液化工艺; 关键技术及经济性分析

天然气作为一种绿色洁净能源, 其开发和利用越来越受到人们的重视。天然气作为其中最为主要的化石生成燃料之一, 具有使用广泛、应用量大等特点, 因此, 相关技术研究应对现有液化天然气液化及净化技术、工艺进行深入研究, 进而确保液化天然气质量的显著提高, 减少资源的不必要浪费, 为后续天然气的安全存储、运输、使用提供有力支撑。

## 1 液化天然气装置概述

在开展天然气液化作业前, 相关人员首先应将开采、收集到的原气进行净化, 剔除其中的杂质, 如汞、氮气、重烃、氧气、水分、酸性气体等, 确保处理后得到的天然气品质满足实际使用规范及市场使用需求。在此过程中, 应利用各类先进的技术手段着重排除如硫醇、羰基硫、 $H_2S$ 、 $CO_2$  等各类酸性气体杂质, 避免对人体组织器官造成刺激、腐蚀, 引发慢性中毒或造成设备腐蚀、管道堵塞等不良后果, 影响设备正常运行及天然气产品的使用效率。依据不同的净化原理, 常见脱酸方式有氧化还原法、低温冷凝法、膜分离法、吸收法、吸附法等, 在整个天然气净化流程中, 需要使用如管道系统、增压机、分液罐、吸附塔等设备, 确保该系统可适用于多种类型的原气的净化处理工作, 使其满足后续使用需要及安全标准<sup>[1]</sup>。

## 2 液化天然气净化技术分析

### 2.1 天然气质量要求

当前, 我国整体经济社会随着科学技术的进步得到了极大发展, 为保障能源的使用安全性, 相关单位及机构从环境、卫生、经济、安全等角度展开综合考量, 对现有天然气的质量及技术标准进行严格规定, 具体要求如下。

第一, 处理后得到的天然气需保证其硫化氢等物质总体含硫量始终处于规定阈值以内, 即  $6\text{--}24\text{mg/m}^3$

之间, 避免不纯净的天然气对人体的生命健康造成威胁。第二, 一定体积或单位质量的天然气产生的热量需小于最小热值, 该数值不仅是控制天然气燃烧后碳元素排放量的关键指标, 也是合理选择天然气加热装置的重要数据。第三, 天然气应确保其烃露点及水露点在规定数值范围内, 其中, 烃露点是指在常压状态下, 天然气由气态转化为液化的临界温度值, 该数值主要与天然气的压力大小及构成成分有关; 水露点则表示在常压状态下, 天然气中水分子由气态转化为液化的临界温度值。

### 2.2 预处理指标

在开展天然气原气净化作业期间, 应尽量降低其中的  $H_2O$ 、 $H_2S$ 、 $CO_2$  等杂质含量, 进一步防止天然气在后续运输过程中对设备、管道等装置造成腐蚀, 确保天然气的最小热值达到市场使用规范。从实际情况来看, 天然气的液化过程受到原气来源、杂质成分、处理工厂等因素的影响, 依据处理工艺的不同, 所选择的净化材料也存在差异。如在开展基本负荷型液化天然气原气预处理时, 需满足如下指标规定,  $CO_2$  溶解度限值为  $(5\text{--}10) \times 10^{-5}$ , 在不设限生产的条件下, 水分累计允许值应低于  $10^{-7}$ , 产品中  $H_2S$  规格低于  $4 \times 10^{-6}$ , 标准条件下总硫化物含量应在  $10\text{--}50\text{mg/m}^3$  范围内。

### 2.3 天然气中酸性气体脱除方法

#### 2.3.1 吸收法

吸收法可分为化学吸收法、物理吸收法、混合吸收法三种。其中, 化学吸收法可利用碱性吸收剂综合酸性气体达到净化作用。依据不同的吸收剂类型, 可将其分为醇胺法及热碱法两种, 常见吸收剂为甲基二乙醇胺、二乙醇胺、乙醇胺等醇胺溶液; 物理吸收法可将各类有机化合物作为主要吸收剂, 使其与  $CO_2$ 、

H<sub>2</sub>S 等发生反应, 并利用其在不同温度及压力下的不同溶解度实现酸气的充分吸收、分离。使用物理吸收法分离酸气的优点在于再生溶剂消耗少、稳定性强、溶剂处理量大且再生容易、不易产生泡沫、装置投资低, 但同时也存在共吸现象明显、吸收溶剂较贵等不足。相关技术人员可参考不同原气酸性气体含量, 通过改变温度及压力的方式实现酸气的合理分离。常见的物理吸收法为利用碳酸丙烯的 Fluor 法、利用聚乙二醇二甲醚的 Selexol 法等; 混合吸收法则体现了以上两种脱酸方式的优势, 可首先利用物理吸收剂降低原气中 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 及各类硫化物气体含量, 再利用化学吸收剂对剩余酸气进行吸收, 保证处理后的天然气符合实际使用规范。

### 2.3.2 吸附法

吸附法也被称为干法脱硫, 主要是利用吸附剂的物理特性吸附原气中的硫化物, 可用于处理含硫量较低的原气, 开展精细脱硫。常见脱硫吸附剂包含氧化铁等含铁氧化剂及分子筛等。在现阶段的工业生产中, 主要利用负载 Zn、Fe、Cu 等金属离子的分子筛净化天然气。但需要注意的是, 在酸性气体含量过高时, 吸附法并不适用, 且吸附剂的再生性较差, 极易产生大量的固体废物, 为后续开展天然气处理作业造成较大影响, 需要额外投入大量财力, 不符合经济环保的要求。当前, 相关技术人员主要利用负载了碱金属离子的分子筛作为主要吸附剂, 该吸附剂可利用高温加热的方式实现再生使用。

### 2.3.3 液化天然气净化工艺中的脱水技术分析

脱水是开展天然气原气净化过程中较为重要的流程之一, 此过程主要可分为脱水及再生两个关键环节。通过对实际情况进行分析可知, 天然气主要从吸附塔的塔顶流出, 在经过分子筛精细处理后可送入干燥器及液化处理模块开展进一步过滤。经过以上步骤处理后得到的再生气可通过干燥器顶部流出, 并在经过气体冷却处理后进入再生气分液罐。在此期间, 天然气及其他液体杂质可分别从分液罐顶端及底部位置排出, 实现原气的净化分离, 得到的液体杂质可收集起来用于开展后续的回收再利用<sup>[2]</sup>。

## 3 天然气的液化方案比较及工艺技术

### 3.1 液化工艺方案比较

#### 3.1.1 级联式液化流程

级联式液化处理在上实际 60 年代得到大量使用, 是最基础的天然气液化工艺流程, 主要被应用于基本

负荷型的天然气液化处理作业中。最基础的级联式制冷循环包含三个相对独立、彼此串联的制冷单元, 将甲烷、乙烯、丙烷作为主要制冷剂, 并分别加装配套的压缩机组。天然气原气在经过以上三个制冷循环系统的处理后, 可通过冷却、冷凝、液化、过冷、降压得到相应的液化天然气资源。级联式制冷液化工艺经过多年来的创新发展, 整体工艺逐渐趋于成熟, 其系统间影响性较小、使用的制冷剂配置简单, 且能源消耗少、反应稳定, 具有极大的使用优势, 但与此同时也存在投入机组数量多、机组运维复杂、管道控制困难、作业流程繁复、需要额外配置制冷存储装置等缺点。

#### 3.1.2 混合制冷流程

混合制冷方式实际上就是级联式液化工艺的进一步拓展延伸, 主要将 N<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> 碳氢化合物等不少于五种的制冷物质混合为制冷介质, 以此代替级联式液化流程的三个制冷模块。相关技术人员需综合原气的构成成分设定合理的压力值, 并通过对制冷剂进行压缩、冷凝、离析、节流、蒸发得到温度冷量, 实现原气的冷却及液化。使用该方式开展制冷作业无需投入大量的机组设备, 简化了工作流程, 有效降低作业初期的财力投入, 相较于级联式液化流程方式可减少 20% 左右的资金, 同时天然气中也存在一定的混合制冷剂成分, 可对现有的制冷剂进行有效补充。需注意, 该制冷流程的不足在于其能耗较大, 高于级联式液化工艺 20% 左右, 且存在混合制冷剂配置困难、制冷过程无法精确计算等缺点。

#### 3.1.3 带膨胀机液化流程

带膨胀机液化流程主要利用透平膨胀机的熵膨胀原理达到调节原气温度的目的。该方式适用于启停迅速、操作复杂且频繁的调峰型设备中, 依据所使用的制冷剂类型, 主要分为氮一甲烷膨胀制冷工艺、氮气膨胀制冷工艺、天然气膨胀制冷工艺等多种类型, 可应用原气的压力膨胀运动获取开展液化处理的冷量。该液化方式的主要可用于使用压力小、输送压力大、存在中途降压条件的场所中, 如高压管网门站调峰型设备等。

### 3.2 天然气液化技术

#### 3.2.1 液化天然气的阶式制冷工艺

阶式制冷工艺作为现阶段应用较为广泛的天然气液化技术得到极大的发展与创新, 但该天然气液化技术需要投入大量的资金成本, 且要从国外引进大量的

机械设备, 因此在开展天然气液化处理作业期间需要较大的空间场地, 整体生产成本不断提高, 具体的工艺作业流程方式如图 1。由图可知, 在使用阶式制冷工艺处理天然气期间, 需要首先将原气输入到分离过滤模块, 通过增压等一系列操作剔除 CO<sub>2</sub>、水蒸气等杂质, 随后利用丙烷压缩机及乙烯压缩机开展丙烷预冷、乙烯制冷等操作, 再通过甲烷压缩机开展甲烷及氮气制冷, 最后就可将得到的液化天然气进行合理的存储、外运, 完成液化天然气的整体生产流程。

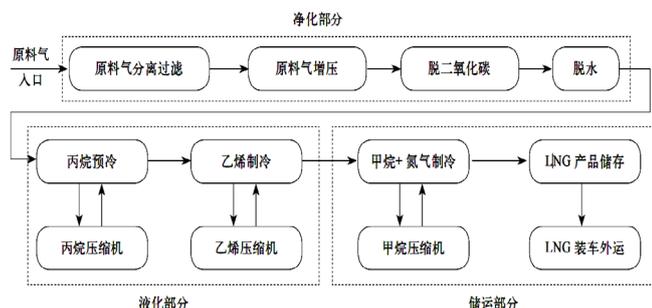


图 1 液化天然气的阶式制冷工艺

### 3.2.2 液化天然气的复叠式制冷工艺

复叠式制冷工艺是当前较为主要的液化天然气制备方式之一。在此作业流程中, 相关技术人员需将原气输入到分离过滤模块, 使其通过增压、脱二氧化碳等、脱水等流程处理后得到较为纯净的天然气, 并将其输入至冷箱, 使其与丙烷、氮气等发生接触反应, 经过预冷、过冷、深冷、节流、降压等操作后, 使得天然气温度降至 -162℃ 左右, 促使气态的天然气液化, 便于相关人员完成后续的液态天然气产品存储、装车、外运工作<sup>[3]</sup>。使用该液化天然气制冷工艺开展作业的好处在于操作流程灵活且技术水平相对成熟, 具有极高的使用优势, 具体的工艺制备流程见图 2。

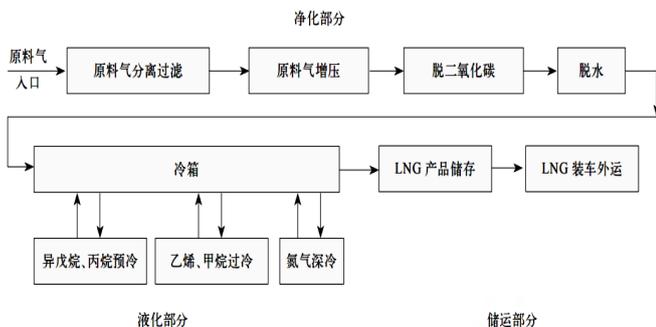


图 2 液化天然气中的复叠式制冷工艺

## 4 液化天然气净化工艺经济对比及发展趋势分析

阶式制冷工艺及复叠式制冷工艺在现阶段的液化天然气生产过程中均得到较为广泛的应用, 相关技术

人员可通过深入探究具体的液化天然气使用需要及市场规范合理选择多样化液化天然气制冷工艺技术, 通过综合比较总投资、回收期、功率、液化率、内部收益率等关键技术参考指标, 确保天然气制备工作的合理性及经济性, 具体的指标数据比较如表 1。

表 1 液化天然气净化工艺的经济性对比

指标	阶式制冷工艺	复叠式制冷工艺
总投资 (万元)	18741	15835
回收期 (a)	5.36	4.52
功率 (kW)	1216	1315
液化率 (%)	97.3	97.3
内部收益率 (%)	20.34	23.58

通过分析表 1 可知, 阶式制冷工艺及复叠式制冷工艺两种液化天然气制备方式的液化率均达到了 97.3%, 但二者在其他参考数据方面存在差异。通过比较分析可知, 相较于复叠式液化天然气制冷工艺, 阶式液化天然气制冷工艺所需能耗较少, 但总投资较高, 由此将导致其投资回收期相对较晚, 且税前内部收益率相应降低。从企业生产角度来看, 复叠式液化天然气制冷工艺得到大范围的使用, 整体技术水平相对先进且工艺成熟, 无需大量引进国外先进的机械设备, 占地面积相应减少, 在开展天然气液化及净化过程期间, 操作流程得到了极大简化, 便于技术人员按规操作或及时调整。由此, 从这一角度进行分析, 相关能源企业可主要采用复叠式制冷工艺技术开展液化天然气的制备生产, 进一步提高企业的经济及社会效益<sup>[4]</sup>。

## 5 结论

现阶段我国在液化天然气领域的研究尚不成熟, 部分关键技术存在研究不足, 相关液化天然气研究单位应当积极投入大量的人力、物力、财力开展深层次的研究探索, 优化天然气的脱酸、脱水处理环节, 并积极引进、创新全新的净化、液化技术, 为相关能源企业及经济社会的发展提供助力。

### 参考文献:

- [1] 吕胜男, 王师婧. 新型天然气液化装置工艺流程及设备特点分析 [J]. 化工管理, 2022(28):155-157.
- [2] 张跃征, 江浩, 刘晓刚, 等. 浮式液化天然气装置 BOG 处理方式研究 [J]. 辽宁化工, 2022, 51(01):129-132.
- [3] 杨龙. 空气冷却器喷雾前后对液化天然气装置产能的影响分析 [J]. 上海化工, 2021, 46(01):38-42.
- [4] 许杰. LNG 生产装置干燥技术的研究 [J]. 现代国企研究, 2019(06):166.