天然气液化技术

阎光灿, 王晓霞

（中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017）

摘 要: 天然气液化是一个超低温过程, 工艺要求比较复杂。液化用原料天然气比管输气态商品天然气要求有更高的纯度。介绍了原料天然气的预处理技术; 论述了天然气液化技术, 包括基地型 LNG 工厂、调峰型 LNG 工厂和接收终端的生产工艺、主要工艺设备的比较与选择; 讨论了天然气液化技术的发展趋势。

关键词: 天然气; LNG; 工艺; 设备; 发展; 趋势

文章编号: **1006-5539(2005)02-0010-07** 文献标识码: A

天然气液化是一个低温过程。天然气经预处理, 脱出重质烃、硫化物、CO_2、水等杂质后, 在常压下深冷到－160 ℃便成液态天然气(LNG), 其体积仅为气态时的 1/600。典型的 LNG 生产工艺装置, 见图 1。

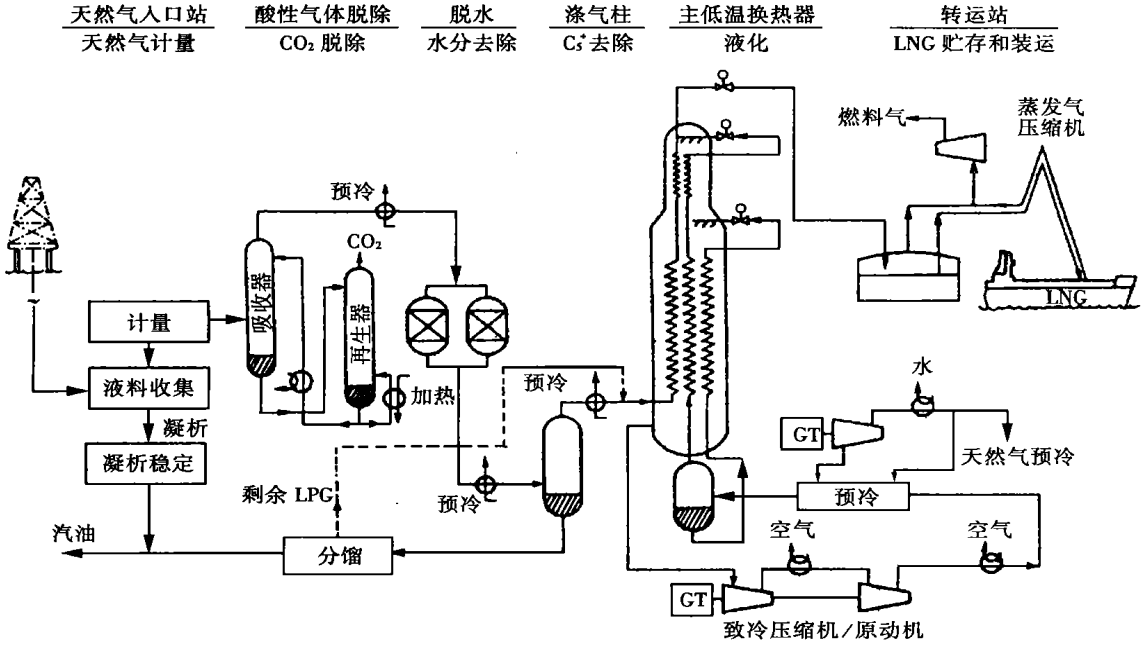

图 1 典型的 LNG 生产工艺装置图

1 原料气的预处理[1, 2]

LNG 工厂的原料气为管输天然气。天然气在进入输气管道之前虽然已按管输标准进行了处理, 但在进行天然气液化之前, 还必须进行天然气预处理, 脱除原料气中的酸性气体和其他杂质, 其目的一是避免它们在低温下冻结而堵塞、腐蚀设备和管道;

收稿日期: 2005-01-12

作者简介: 阎光灿(1940-), 男, 重庆人, 副译审, 1965 年毕业于四川外语学院。长期从事翻译和科技情报工作。电话: (028)86014475。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

二是提高产品的纯度。表 1 列出了基地型 LNG 生产厂原料气杂质的最大允许含量。

表 1　基地型 LNG 生产厂原料气杂质的最大允许含量

杂质	最大允许含量	杂质	最大允许含量
H_2O	$<0.1\times10^{-6}$(V)	总 S	10~50 g/m^3
CO_2	$<50\times10^{-6}$~100×10^{-6}(V)	Hg	<0.01 μg/m^3
H_2S	3.5 mg/m^3 (4×10^{-6}(V))	芳香族烃	1×10^{-6}~10×10^{-6}(V)
COS	$<0.1\times10^{-6}$(V)		

1.1　酸性气体的脱除

现有基地型 LNG 工厂对酸性气体的脱除通常采用以下工艺:

1.1.1　胺法

对酸性气体含量低、酸性气体分压小于 350 kPa 的原料气,适宜采用胺法进行酸性气体脱除。胺法中有 Amine Guard FS 工艺、Ucarsol 专利溶剂等。

1.1.2　Benfield 法

Benfield 溶液是一种由以下成分组成的含水混合物:脱酸性气体的碳酸钾(K_2CO_3)、加快传质速度的活化剂和保护工艺设备的缓蚀剂。Benfield 法中有美国 UOP 公司开发的 Benfield Hipure 流程、Benfield—100 流程等。Benfield Hipure 流程由热碳酸钾(HPC)系统和二乙醇胺(DEA)系统组成。HPC 进行大量酸性气体的脱除,DEA 进行残余酸性气体的最终脱除。Benfield—100 流程包括 K_2CO_3 吸收装置(用于脱除原料气中大量酸性气体和 COS)和分子筛吸收装置(用于脱水、脱出残余酸气和硫醇)。

1.1.3　Sulfinol 法

Sulfinol 溶液由二异丙醇胺(DIPA)、Sulforane 和水组成。适用于酸性气体含量高、分压大的原料气。Sulforane 对硫醇、重烃、芳香烃具有很强的亲合力。这种工艺方法对处理硫醇含量高的原料气具有优越性。

几种工艺方法的应用各有所侧重。对于酸性气体分压低的原料气,采用 Amine Guard FS 工艺和 Ucarsol 溶剂,可以节省费用;对于酸性气体分压高和/或 COS 含量高的原料气,采用 Benfield Hipure 法和 Sulfinol 法,费用低,性能好;要完全脱除所有硫化物和实现 100%轻烃回收,采用 Benfield—100 较为适宜。

表 2 列出了主要基地型 LNG 工厂所采用的酸气脱出工艺。

表 2　基地型 LNG 工厂酸气脱出工艺

工　厂	酸气脱出工艺	原料气中 H_2S 含量	原料气中 CO_2 含量/(%)	原料气入口压力/kPa
Arzew(GL4、1、2-Z)(阿尔及利亚)	MEA(单一醇胺)	0	0.2	3 660
Skikda(GL1、2、3-K)(阿尔及利亚)	MEA	0	0.2	3 660
Marsa el Brega(利比亚)	K_2CO_3 和碱液			4 660
Kenai(阿拉斯加,美国)	MEA		0.05	4 490
Das Island(阿布扎比)	Benfield Hipure	4.7%	4.9	5 200
Badak(印度尼西亚)	MEA 和 Ucarsol	3×10^{-6}(V)	5.8	4 590
Arun(印度尼西亚)	Benfield Hipure	80×10^{-6}(V)	15.1	7 590
Bintulu(马来西亚)	Sulfinol	$<20\times10^{-6}$(V)	5.5	5 220
N. W. Shelf(澳大利亚)	Sulfinol	2×10^{-6}(V)	4.0	5 420

1.2　水分的脱除

为了防止液化过程中发生水合物堵塞,必须将原料气中的水分含量降低到 0.1×10^{-6}(V)以下。目前,天然气脱水方法主要有:冷却法、甘醇脱水法和固体吸附法。

1.3　硫分的脱除

当代 LNG 工厂主要采用分子筛进行硫分脱除。

1.3.1　5A 型分子筛

能脱除用 Sulfinol 法极难脱除的 C_1SH 和 C_2SH,可与 Sulfinol 法组合运用。

1.3.2　13X 型分子筛

这种分子筛可脱除 C_1SH, C_2SH, C_3SH 和 C_4SH,可吸收重烃,可与 Benfield 法组合运用。

1.4　汞的去除

汞(Hg)对铝具有腐蚀性,特别是在有水分存在

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的情况下，其腐蚀危害更为严重。为了防止汞给铝质板式换热器造成腐蚀破坏，在天然气液化前，必须将原料气中汞的含量限制到 0.01 $\mu g/m^3$ 以下。

1.5 重烃的脱除

为了防止冷却过程中结冰而发生冰堵，液化前应将重质烃组分分离掉，使苯含量小于 1×10^{-6} (x)，C_5^+ 含量小于 0.1 x%。在 APCI(空气产品与化学制品公司)工艺中，重质烃组分在涤气塔内通过蒸馏予以分离。

2 天然气液化工艺

2.1 基地型 LNG 工厂液化工艺[1~3]

天然气液化是一个低温过程。原料天然气经预处理后，进入换热器进行低温冷冻循环，冷却至 −160 ℃左右就会液化。迄今已成熟的天然气液化工艺有：节流制冷循环、膨胀机制冷循环、阶式制冷循环、混合冷剂制冷循环和带预冷的混合冷剂制冷循环。世界基地型 LNG 生产厂主要采用后三种液化工艺。

2.1.1 阶式制冷循环

经典的阶式制冷循环由 3 个制冷段(即 3 个温度级：丙烷段−38 ℃、乙烯段−85 ℃、甲烷段−160 ℃)串接组成。为了使实际级间操作温度尽可能贴近原料气的冷却曲线，减少熵增，提高效率，人们后来将 3 个温度级改进为 9 个温度级，即再将丙烷段、乙烯段、甲烷段各分为 3 个段。3 段式和 9 段式的冷却曲线见图 2、3。

阶式制冷循环能耗低，技术成熟，最早的基地型 LNG 生产厂——阿尔及利亚的 Camel 工厂和美国阿拉斯加的 Kenai 工厂采用了这种液化工艺。随着 LNG 技术的发展，阶式制冷循环暴露出了它固有的缺点：机组多(3 台压缩机)、投资费用高、流程十分复杂，因此后来建设的 LNG 生产厂已不再采用这种工艺。

2.1.2 混合冷剂制冷循环

混合冷剂制冷循环又称 MRC(Mixed Refrigerant Cycle)工艺，是美国 APCI 于 20 世纪 60 年代末开发成功的一项专利技术，采用多组分制冷剂(N_2 + $C_1^0\sim C_5^0$ 混合物)循环，利用混合物各组分不同沸点、部分冷凝的特点，达到所需的不同温度水平。图 4 是 MRC 工艺装置流程图。主换热器是 MRC 制冷系统的核心。主换热器垂直安装，下部为温端，上部为冷端。壳体内布置有许多换热盘管，体内空间可提供一条很长的换热通道，液体在换热通道中与盘管内的流体换热以达到制冷的目的。

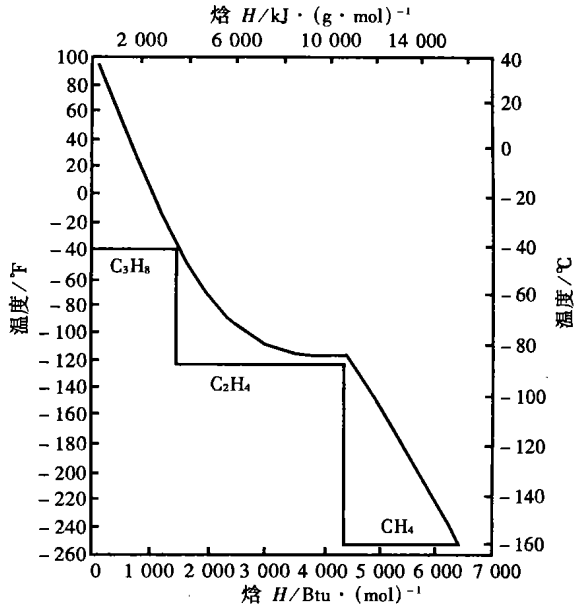

图 2 3 段式循环冷却曲线

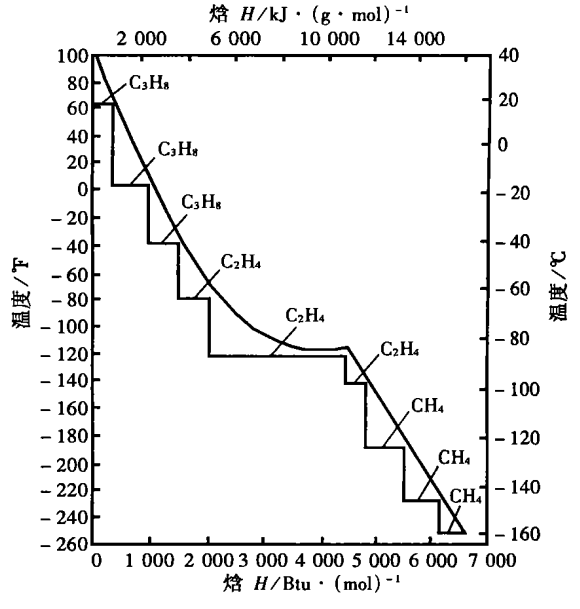

图 3 9 段式循环冷却曲线

MRC 工艺只需 1 台压缩机，大大简化了流程，降低了投资；理论上这种工艺的级间冷却温度能较好地贴近原料气的冷却曲线，因而可大大节省制冷功率。但制冷剂混合物的组成比例一旦确定之后很难调整，很难使流化过程都能按冷却曲线提供所需

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

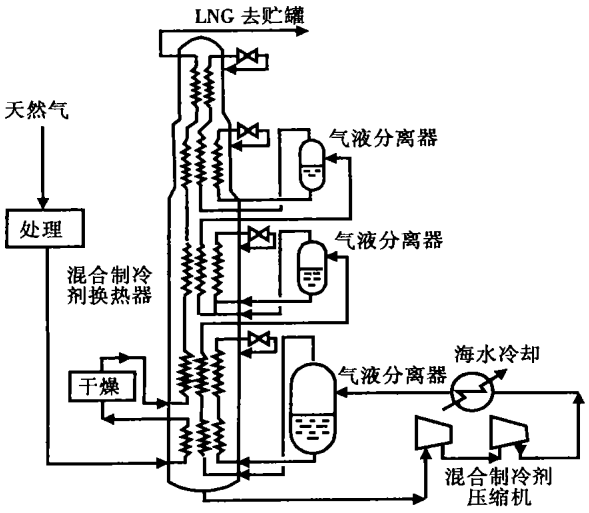

图 4　典型的天然气液化混合冷剂循环装置

的冷量，导致 MRC 工艺的效率比 9 个温度级低。另外，原料气、多种冷凝物、汽化馏分等需要独立的换热管束，致使主换热器显得既庞大又复杂。因此，采用这种工艺的 LNG 工厂也不多。

2.1.3　带预冷的混合冷剂制冷循环

带预冷的混合冷剂制冷循环，简称 C_3/MR 工艺，是在 MRC 工艺基础上开发出来的新一代液化工艺，采用丙烷、混合冷剂（$N_2+C_1^0 \sim C_4^0$）、氨制冷等预冷方式。C_3/MR 工艺的基本原理是分两段供冷进行冷却，C_3/MR 混合冷剂循环天然气冷却装置见图 5。高温端采用纯丙烷预冷工质进行多级制冷，低温端进行两级换热制冷——高压混合冷剂与较高温度的原料气换热，低压混合冷剂与较低温度的原料气换热。

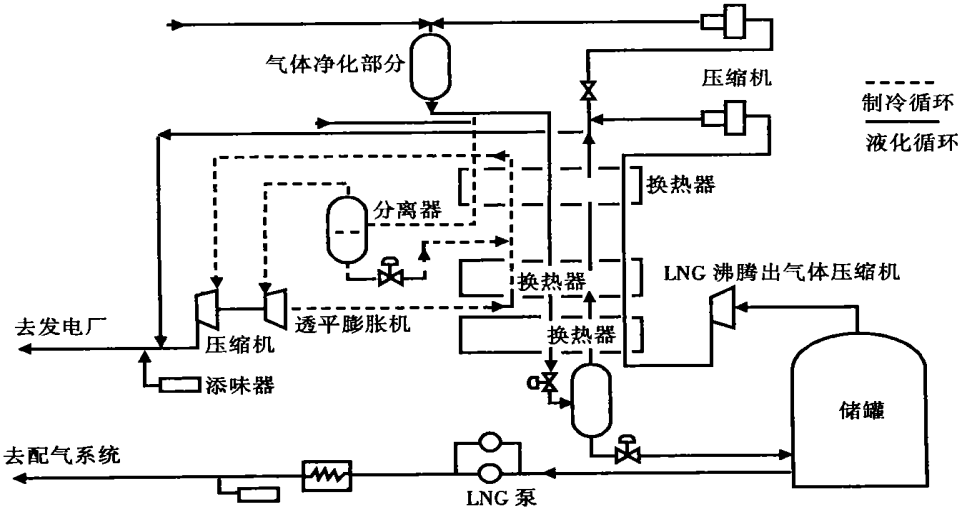

图 5　美国圣地亚哥调峰型 LNG 工厂示意流程

在 C_3/MR 工艺中有两个独立的循环系统，即丙烷密闭循环系统和混合冷剂与原料气密闭循环系统。在丙烷循环系统中，丙烷蒸气经丙烷压缩机两级压缩并用冷却介质冷却至全凝状态后，通过换热器分别对混合冷剂和原料气进行预冷；蒸发后的丙烷工质返回丙烷压缩机进行再循环。在混合冷剂循环系统中，混合冷剂蒸气经混合冷剂压缩机两级压缩并用冷却介质先后进行中间冷却和后冷却后，再进入丙烷循环系统进行部分冷凝，分离成液体和气体两个馏分；它们再进入主换热器，在各自的换热盘管内得到进一步冷却。然后，采用喷淋方式与原料气物流进行换热。两个馏分以汽相形式在主换热器底部重新混合后，返回混合冷剂压缩机实行再循环。

C_3/MR 工艺综合了阶式循环工艺和 MRC 工艺的特长，具有流程简单、效率高、运行费用低、适应性强等优点，是目前最为合理的天然气液化工艺和基地型 LNG 工厂首选工艺。世界上采用这种工艺的基地型 LNG 工厂占所有基地型 LNG 工厂的 2/3。世界主要基地型 LNG 工厂采用的天然气液化工艺见表 3。

2.2　调峰型 LNG 工厂液化工艺[1~2]

调峰型 LNG 工厂有两种形式：一种设在城市门站附近，本身有液化能力，生产的 LNG 储存于储罐中，通过下游配气系统与用户连接；另一种为卫星型调峰装置，本身无液化能力，靠特殊槽车运来

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

LNG, 气化后供附近地区使用。图 5 是美国圣地亚哥调峰型 LNG 工厂的示意流程, 图6 是由法国燃气公司为上海的 LNG 事故调峰站设计的液化流程。

表 3 世界主要基地型 LNG 工厂采用的天然气液化工艺

LNG 生产厂	液化工艺	设计公司	LNG 生产厂	液化工艺	设计公司
Arzew, GL4-Z(阿尔及利亚)	阶式制冷循环	Technip/ Pritchard Philips	Das Island(阿布扎比)	C_3/MR	APCI
Kenai(阿拉斯加(美国))	阶式制冷循环	Technip/ Pritchard Philips	Lumut(文莱)	C_3/MR	APCI
Marsa el Brega(利比亚)	MRC	APCI	Badak(印尼加里曼丹)	C_3/MR	APCI
Skikda(阿尔及利亚)	MRC	Pritchard	Arun(印尼苏门答腊)	C_3/MR	APCI
Arzew, GL1-Z(阿尔及利亚)	C_3/MR	APCI	Bintulu(马来西亚)	C_3/MR	APCI
Arzew, GL2-Z(阿尔及利亚)	C_3/MR	APCI	N. W. Shelf(澳大利亚)	C_3/MR	APCI

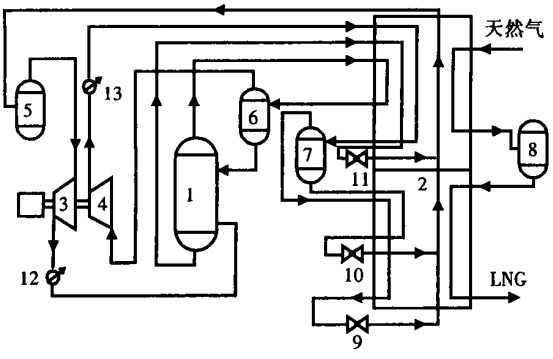

图 6 上海 LNG 调峰站液化流程示意图

1. 分馏塔; 2. 冷箱; 3. 低压压缩机; 4. 高压压缩机; 5~8. 气液分离器; 9~11. 节流阀; 12~13. 冷却器

2.3 LNG 终端接收站工艺[4]

至20世纪末世界上共有 40 多个 LNG 接收终端站, LNG 接收终端站的技术已相当成熟。

LNG 终端站基本无液化能力, 但 LNG 储存能力和再气化能力很强, 因此终端站的工艺流程并不复杂, 见图 7。

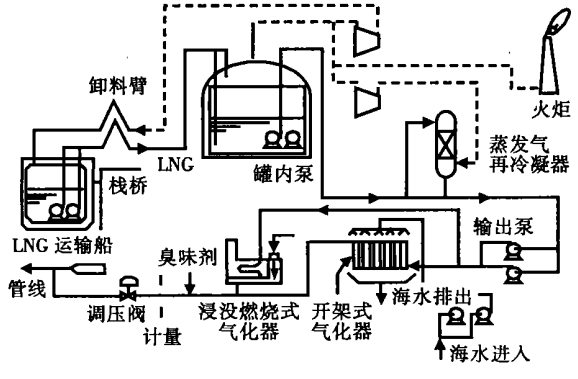

图 7 LNG 终端站工艺流程

LNG 终端站的主要设备有 LNG 储罐、LNG 泵、LNG 卸料臂、气化器等。

3 工艺设备

液化工艺中主要工艺设备有制冷压缩机组、换热器、LNG 储罐和容器等。在 LNG 工厂的投资费用中, 工艺设备占 40%以上, 其中制冷压缩机组占 50%, 换热器占 30%。

3.1 制冷压缩机组[1,5]

制冷压缩机组包括压缩机和驱动装置(原动机), 是 LNG 生产的关键设备之一。制冷压缩机组一般不备用, 这种设备任何 1 台发生故障, 都会造成停产。因此, 这种设备的可靠性、易操作性和可维修性, 对 LNG 生产至关重要。

3.1.1 压缩机及选择

天然气液化所需压缩功率与 LNG 产量有关, 约为 12~14 kW/t·d^{-1}; 一条生产能力为 2.5×10^6 t/a 的 LNG 工厂, 约需压缩功率 100 MW。压缩机的配置根据压缩工艺的不同而有所区别: 阶式制冷循环工艺, 3 种工艺流体, 最少需 3 台压缩机; 混合冷剂制冷循环工艺, 1 种工艺流体, 最少需 1 台压缩机; 带预冷的混合冷剂制冷循环工艺, 2 种工艺流体, 最少需 2 台压缩机。

现有大型 LNG 生产厂中, 预冷压缩循环, 多选用离心式压缩机; 气体液化循环, 一级压缩多选用轴流式压缩机, 二级压缩选用带中间冷却器的离心式压缩机; 甲烷压缩多选用离心式压缩机。

3.1.2 原动机及选择

可供选择的压缩机原动机有: 蒸气透平、燃气轮

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

机和电动机。表 4 列出了它们的基本特性。

蒸气透平已成功用于 LNG 生产。蒸气透平的功率和速度范围较大,用作制冷剂压缩机原动机相对比较简单,能直接与制冷压缩机匹配;但蒸气透平工艺必须采用冷却水对蒸气和丙烷等制冷剂进行冷却,投资成本较高,对公用设施的依赖程度较大。燃气轮机热效率高,易于启动,不需蒸气发生设施,总投资比蒸气透平低;但装机费用比蒸气透平高,功率不能连续调节。燃气轮机分单轴和双轴两种类型。双轴燃气轮机有驱动自身空气压缩机的涡轮转子和驱动工艺压缩机的动力涡轮轴,能产生足够的启动扭矩。电动机的初期费用仅为燃气轮机的 1/3,维护费用较低;但电动机的操作费用和操作可靠性受到电力供应的严重制约。

表 4　压缩机组原动机基本特性[7]

特　　性	蒸气透平	燃气轮机	电动机
最大功率/ MW			
可变速度型	100	30(双轴)	25
固定速度型	—	80(单轴)	40
转速/ $r\cdot min^{-1}$			
可变速度型	与压缩机匹配	与压缩机匹配	≤6 500
固定速度型	—	—	1 800(要求齿轮传动)
噪声	中等(压缩机)	高(进气和排气管)	中等(齿轮传动)
环境振动影响	轻微、中等	中等、大	无
易启动性	中等、困难	中等(单轴) 容易(双轴)	容易、中等
操作复杂程度			
机械	中等	中等(单轴)	简单
系统	复杂	容易(双轴)	中等
效率			
可变速度型	好	好(双轴)	好
固定速度型	—	低(单轴)	低
投资费用/ 美元$(kW)^{-1}$			
可变速度型	30~50	40~65	75~100
固定速度型	—	—	25~30
辅助系统费用	高	低、中等	低
维护费用	低	中等	低

几种原动机各有优缺点,对具体 LNG 工厂而言,选择原动机时应考虑工厂的总体设计方案、液化工艺、原动机的使用经验、公用设施、环境影响、安全性、可靠性、可维护性、投资和操作费用等多种因素。

3.2　换热器[2~3]

换热器是直接进行天然气液化的主要设备。原料气经预处理后便进入换热器进行冷却液化,这是换热器的最主要功能。除此之外,换热器还对原料气进行预冷,对酸气脱除、分馏装置和公用设施提供所需的冷量。现有 LNG 生产厂选用的换热器有绕管式、板翅式和管壳式几种类型。

3.3　LNG 储罐和容器

不管是基地型 LNG 生产厂还是调峰型工厂和 LNG 接收终端站。LNG 储罐是 LNG 生产厂最主要的设施之一。LNG 储罐分地面储罐和地下储罐。由于所储存液体的可燃性和超低温性,LNG 储罐的建造材料有非常严格的要求。

LNG 生产厂有许多工艺容器,如分馏塔等。酸气脱除单元中的吸收塔是 LNG 生产厂的最大容器设备之一。

3.4　膨胀机

在天然气液化循环中采用膨胀机,能大大提高循环效率。气体膨胀机能产生附加冷量和/或附加功率。用液体膨胀机代替 LNG 和液态混合制冷剂流路上的 J—T 阀,可降低工艺的单位能耗,提高 LNG 的产量。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 安全系统

LNG 生产、储存和装运的操作安全，对保证生产和人员安全具有特别重要的意义。LNG 生产过程中，典型事故是 LNG 泄漏和溢出。为防止 LNG 事故发生，当代 LNG 工厂都采取了以下一些安全措施：在设计上严格执行 NFPA 59A 标准对 LNG 储罐安全距离的规定；在 LNG 储罐、蒸发器、LNG 泵等重要部位安装紧急关闭阀(ESD)；在工艺区、建筑物内等相关地方设置低温和火警探测器；加强工业卫生和防护管理，提供防冻防蒸气灼伤防护用品；配置有效的消防设施。

5 世界 LNG 工业发展趋势[5,7]

安全第一将继续成为 LNG 设施设计、施工和操作的基本原则。世界 LNG 工业总的发展趋势是：在保证安全性的前提下，LNG 生产线向大型化发展，降低能耗，提高效率，提高有效性，增强 LNG 价格在能源价格中的竞争能力。

5.1 设计

设计人员不断致力于改进设计手段，提高设计质量，改进技术参数，正确选择液化工艺和设备，实现费用节约。在工艺设计方面，优化工艺布置，采用分析方法和预演技术，确定 LNG 设施最佳投资和能耗指标；采用计算机技术，对 LNG 装置的操作和维护进行自动化管理和监控。

5.2 实现 LNG 系统的优化

LNG 工作者不但致力于实现液化工艺和设备选择的优化，还为实现整个 LNG 系统的优化而进行着不断的探索。如输入输出站的储罐容量、海运效率和速度、气候条件和 LNG 季节性需求、原料供应等，都对 LNG 生产有影响，必须对所有变量或参数进行优化，获得最佳效果。

5.3 提高装置的有效性和可靠性

提高装置的有效性和可靠性是降低 LNG 费用的重要途径。装置停机，包括计划停机和非计划停机，对装置的有效工作时间有很大影响，如何将计划停机和非计划停机控制到最低水平，一直是人们研究的课题之一。表 5 列出了几个大型 LNG 装置的有效工作时间。

表 5 几个大型 LNG 装置的有效工作时间

LNG 生产厂	Arun (印尼)	Bontang (印尼)	N.W.Shelf (澳大利亚)
原动机	燃气轮机	蒸气透平	燃气轮机
统计时间	1987～1991 年	1985～1988 年	
计划停机	2.05%～6.57%	2.6%	
非计划停机	1.37%～2.56%	2.2%	
有效工作时间	96.5%～97.6%	92.06%～95.39%	95.2%

5.4 延长装置的使用寿命

延长装置的使用寿命，能降低 LNG 费用。一些易磨易损元件，如轴承和密封件，对装置维修次数和维修时间以及装置的寿命有很大影响，是研究的主要对象。其他研究技术有：工艺和环境造成设备腐蚀的探测和防护、较理想的隔热材料和隔热措施等。

5.5 LNG 生产线向大型化发展

人们认识到，发展规模经济，扩大 LNG 生产线生产能力，减少 LNG 生产线数量，可以进一步降低能耗，降低 LNG 生产成本。日本《配管技术》2001，43(11)介绍，20 世纪 60 年代单套规模为 50×10^4～100×10^4 t/a，到 90 年代便达到 240×10^4～300×10^4 t/a。

LNG 生产线生产规模的发展情况见表 6，当代主要 LNG 工厂生产线规模见表 7。

表 6 LNG 生产线生产规模发展情况

设计年份	一条生产线的额定生产能力	
	10^8 m^3/a	10^6 t/a
1960～1970	6.75～14.8	0.5～1.1
1971～1978	16.2～21.6	1.2～1.6
1979～1990	27～35.1	2.0～2.6
1991～2000	35.1～40	2.6～3.0

(下转第 24 页)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

输方法的经济性所做的对比[6]。图中运输量大于 11.33×10^6 m^3/d，纵轴为运输成本，横轴为运输距离。当横轴为零时，表示液化天然气、合成原油及天然气水合物装置及管道运输的成本。从天然气的运输距离来看，短距离运输(少于 1 000 km)，管线运输最好；中长距离运输(1 000～12 000 km)，天然气水合物最好；6 000 km 以下，液化天然气优于合成原油；超长距离运输(大于 12 000 km)合成原油最好。

综上所述，天然气水合物储运技术具有经济可行性。

4 结论和建议

a)在标准状态下 1 m^3 的水合物所携带的天然气量常达 150～170 m^3，气体转化成水合物状态时体积明显减小的特性是这种气体储存方法的基础。

b)天然气水合物储运技术具有技术可行性和经济可行性。

c)天然气水合物储运技术起步晚，远没有液化天然气和管道输送技术研究得深入和成熟，该技术离实际应用还有较大距离，其推广应用还需解决一系列技术问题：研究高效的水合物生产工艺；单位体积水合物储气量的确定；优化水合物储气压力、温度条件，提高水合物储气的的经济性；水合物的有效分离手段；水合物的高效分解方法等。

参考文献：

[1] Sloan E D, Jr. Clathrate hydrate of natural gases[M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1997. 457-512.

[2] 姚光镇. 输气管道设计与管理[M]. 北京：石油大学出版社，1991. 82-85.

[3] 贝克 C Ш，马科冈 Ю Ф，福米纳 В Н. 气体水化物[M]. 北京：石油工业出版社，1987. 281-283.

[4] 孙志高，樊栓狮，郭开华，等. 气体水合物储存天然气技术[J]. 天然气工业，2002，22(5)：87-90.

[5] Gudmundsson J S. Storing natural gas as frozen hydrate[J]. SPE Production & Facilities, 1994, 55(2): 69-73.

[6] Gudmundsson J S. Natural gas hydrate-an alternative to liquefied natural gas[J]. Petroleum Review, 1996, 19(5): 232-235.

(上接第 16 页)

表 7 当代主要 LNG 工厂生产线规模

LNG 生产厂	单条生产线规模 / 1×10^6 t·a^-1	开工时间	说明
Bontang, F 生产线(印尼)	2.6	1993 年	副产品 LPG
Adgas, 第 3 生产线	2.5	1994 年	副产品 LPG
MLNG-2(马来西亚)	2.6	1995 年	
Qatargas(卡塔尔)	2.4	1996 年	
Bonny LNG(尼日利亚)	3.0	1999 年	
Ras Laffan(卡塔尔)	3.0	1999 年	

LNG 生产线规模有继续扩大的趋势。美国 Kellogg 公司设计专家认为，今后 LNG 生产线规模应向 4×10^6 t/a 发展，这样能更有效地降低生产成本。

5.6 降低 LNG 生产能耗

LNG 生产厂的动力需求大约需要消耗 10%的原料气。液化 1 m^3 天然气的理论最小能耗为 0.18～0.21 kW·h，而前面所述几种液化天然气制冷循环所需能耗比这要高得多。目前世界上对降低 LNG 生产厂能耗进行着不懈的努力，力求达到更低的能耗指标。

参考文献：

[1] 四川石油设计院. 国外液化天然气(LNG)工业技术[R]. 成都：四川石油设计院，1996. 12.

[2] 徐文渊，蒋长安. 天然气利用手册[M]. 北京：中国石化出版社，2002：297-298.

[3] Collins C A, Durr F F. Liquefaction plant design in the 1990s[J]. Hydrocarbon Processing, 1995, 74(4): 67-76.

[4] Nagelvoort R K. Liquefaction cycle development[A]. Japan: LNG 10 International Conference, 1992.

[5] Liu Yu-Nan. Design consideration of larger LNG plant[A]. Japan: LNG 10 International Conference, 1992.

[6] 杜光能. LNG 终端接收站工艺及设备[J]. 天然气工业，1999，19(5)：82-86.

[7] Ichizo Aoki, Yoshitsugi kikkawa. Technical efforts focdus on cutting LNG plant costs[J]. Oil & Gas Journal, 1995, Jun.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

SELECTED ABSTRACTS

NATURAL GAS AND OIL
(QUARTERLY)
Vol. 23 No. 2 Jun. 2005

SPECIAL SUBJECT: Liquefied Natural Gas(LNG)Technology

Application and International Trade of Liquefied Natural Gas

HeYu, Yang Mei(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 1-5

ABSTRACT: Natural gas is a high-quality and environment-friendly energy source and fuel, and its percent in primary energy constituent in the world is more and more increasingly. Liquefied natural gas(LNG), as liquid state of natural gas, has its unique properties and advantages, and is widely used in industrial and domestic fields. International LNG trade is quite lively and needs for LNG are increased day by day.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Energy source; Fuel; Property; Application; Trade; Needs

World LNG Industry and Its Development

Xian Zhiwei, Xie Zhen(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 6-9

ABSTRACT: LNG industry is a large-scale systematic chain, which consists of multiple links, including LNG production, storage, transportation and utilization etc. Discussed are world LNG production plant, its classification and development of LNG industry in China.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Current status; Development

Liquefaction Technology of Natural Gas

Yan Guangcan, Wang Xiaoxia(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 10-16

ABSTRACT: Discussed is liquefaction technology of natural gas, including preconditioning methods, liquefaction process, main process equipment and its comparison and selection; Described are development trends of liquefaction technology of natural gas.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Process; Equipment; Development; Trend

LNG Storage and Transportation

Xiong Guangde, Mao Yunlong(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 17-20

ABSTRACT: LNG storage requiring high capital is an important link and infrastructure in the whole LNG chain from its production to sale. Discussed is LNG storage technology and described are LNG storage tanks of large LNG plants and LNG terminals in the world, and summarizes LNG transportion.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Storage; Tank; Transportation

OIL & GAS TRANSPORTATION AND STORAGE

Application of Natural Gas Hydrate Technology in Storage and Transportation

Chen Shujun, Chen Baodong, Li Lijun, Hao Min(Department of Oil & Gas Storage and Transportation, Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, Fushun, Liaoning, 113001, China) **NGO**, 2005, 23(2): 21-24

ABSTRACT: Natural gas hydrate is a kind of simple crystalloid solid hydrate. It contains 150~170 m^3 of gas per m^3 solid hydrate under normal conditions, thus, great attention are paid to its giant ability and suitable conditions for nature gas storage. Analysis on hydrate and liquefied natural gas technology and economical comparison show that it is feasible and economic to storage and transport nature gas by means of hydrate. However, further research is necessary to apply this technology practically.

KEY WORDS: Natural gas; Hydrate; Storage; Transportation; Technology

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net