

技术进展

液化天然气冷能梯级集成利用技术研究

徐文东,高丽荣,华 贲,王小伍

(1. 华南理工大学强化传热与过程节能教育部重点实验室,广东 广州 510640;
2. 华南理工大学天然气利用研究中心,广东 广州 510640)

摘要:随着液化天然气(LNG)产业的蓬勃发展,开发 LNG 冷量梯级利用技术具有巨大经济效益,有利于降低 LNG 使用成本和开拓天然气下游市场。针对我国 LNG 产业发展现状,分析了 LNG 冷量利用过程中存在的 ■ 损较大、研发力量松散、宏观调控力度薄弱等问题,提出了 LNG 冷量梯级集成利用技术,建立了 LNG 冷量梯级利用工艺模型,并简要分析了各种冷能用户的发展规模和前景。

关键词:液化天然气;冷能;梯级集成

中图分类号:U473.2.4

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2007)04-0011-03

Cascade integrated utilization and application of LNG cold energy

XU Wen-dong, GAO Li-rong, HUA Ben, WANG Xiao-wu

(1. Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation of the Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510460, China; 2. Research Center of Natural Gas, South China University of Technology, Guangzhou 510460, China)

Abstract: As the fast development of LNG industry, the technology for utilizing LNG cold energy in cascade mode, which has a great economic benefit, is discussed. It reduces LNG use-cost and exploits natural gas downstream market. The problems such as large exergy loss, scattered R&D force and weak in macro-regulation and control in the process of LNG cold energy utilization are analyzed, and the cascade integrated utilization technology and its model of LNG cold energy are proposed according to the development status of LNG industry. The scale and prospect of downstream users of LNG cold energy are also analyzed.

Key words: LNG; cold energy; cascade integration

随着液化天然气(LNG)的发展及利用速度、规模的迅速发展和日益扩大,近几年,我国将形成沿海地区进口 LNG 和国内中小型气田通过 LNG 陆上运输 2 个 LNG 市场。届时,将有近 10 个携带数万太焦/年的巨额冷能的百万吨/年港口 LNG 接收站,数百个不同规模的陆地 LNG 气化卫星站将建设起来。LNG 气化过程中将释放大量冷能,为 833 ~ 860 kJ/kg^[1],随着国际石油价格暴涨,能源和电力成本大幅度增加,LNG 的冷量显得越来越珍贵。日本最早随着进口 LNG 而开发了 LNG 冷量利用技术,已有 20 多年的历史,除了与发电厂相配合使用外,还有 23 个 LNG 接收站和 26 台独立的冷能利用设备^[2]。但这些都是陆续开发的单一冷量利用项目,迄今还极少有多种冷量用户复合或集成的项目。这些项目的冷负荷与 LNG 热容都不太匹配,导致大量超低温

位冷量向高温位传递,使得过程 ■ 损较大,冷能大量浪费,回收率降低,这与一直以来能源价格相对便宜、冷量综合利用项目投资收益率受限有关。

未来几年,我国将在沿海地区相继建成十几个 LNG 接收站,几千万吨/年 LNG 将携带数万太焦/年的巨额冷量。在高能源价格下,冷量回收项目的经济性也大大提高。生产 1 t LNG 需要消耗 850 kWh 的电力,其 ■ 值(有用功)只有 120 kWh 左右,在液化过程中,不可逆损失达到 730 kWh,这是制冷过程不可避免的。如果改进制冷技术,可减小这部分损失,但按照目前技术来看其减小程度有限。因此如果把这些冷量等温位传递给冷能用户,并考虑传热温差和过程损失,则生产 1 t LNG 一般可节约 500 ~ 700 kWh 的电力。

目前 LNG 冷量利用技术还存在很多问题,任何

收稿日期:2006-11-23

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2005038176)和广州煤气公司项目("广州市能源结构调研与天然气发展战略研究")

作者简介:徐文东(1972-),男,博士后,从事 LNG 制备及其冷量利用的研究,020-33450035,wdxu@scut.edu.cn。

单一利用技术都无法充分利用 LNG 冷量,过程 ■ 损失较大。我国 LNG 冷量利用技术的研究尚处于起步阶段,尚不具备系统、全面的 LNG 冷量利用技术的研发指导机制,缺乏此类技术的评价方法。在未来十几年内我国将在沿海地区相继建成 10 个 LNG 接收站,无序的利用工程将导致产品积压,降低冷量利用效率,影响 LNG 产业的发展。因此我们必须利用后发优势,在充分吸取国外经验和教训的基础上,进一步自主创新,开发具有自主知识产权的 LNG 冷量综合优化利用技术。结合各个地区的发展趋势和用冷工业的实际情况,充分考虑该地区的设施配置和工程建设等方面,合理利用自然环境资源,满足多种功能需求,既能节省大量电能,又能尽快带动相应工业的发展,实现可持续、节约型社会的发展战略。

1 LNG 冷能集成优化利用

笔者所在课题组针对我国 LNG 冷能利用研究领域存在的诸多问题,在目前工业上冷能用户较为稳定的基础上,根据各种冷能用户的用冷温位和特性的不同,建立了 LNG 冷量集成利用优化方案,具体工艺模型见图 1。其总体设计不仅重视冷能的回收效率,更看重品位的利用,实现了 LNG 冷能的梯级利用。

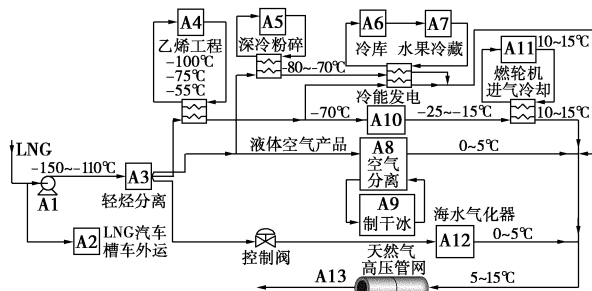


图 1 LNG 冷量集成利用模型

如图 1 所示,将 -162°C 的 LNG 从储罐中抽出数万吨,用于发展 LNG 汽车或者槽车外运(A2)的边远用户,其余通过 LNG 泵加压、气化后进入天然气高压管网。以湿 LNG 为例,经加压后 LNG 温度从 -162°C 升高到 -150°C 左右,直接用于轻烃分离(A3),其利用温位为 $-150\sim-110^{\circ}\text{C}$ 。轻烃分离后的 LNG 温度在 -110°C 左右,仍然具有大量的冷能,在条件适宜的情况下,可直接用于乙烯工程(A4),其利用温位在 -100 、 -75 、 -55°C ,这是 LNG 冷能极好的、最大的用户。余下冷能可按温位和流量不同分别用于冷能发电(A10)(-70°C 左右)、冷库(A6)和水果冷藏(A7)($-60\sim 0^{\circ}\text{C}$)、燃轮机进气冷却

(A11)($10\sim 15^{\circ}\text{C}$)。剩余 -110°C 的 LNG 冷能可用于深冷粉碎和空分系统。深冷粉碎部分利用的是 $-80\sim-70^{\circ}\text{C}$ 的冷量;余下的冷能按 LNG 不同温度带送入冷库和水果冷藏(A7)。空分系统中的温度在 -190°C 左右,可以充分利用 LNG 的低温冷量。把 LNG 冷量用于空分装置后,剩余的 -100°C 的 LNG 进一步升温的冷量用于干冰的制备。另外还要设置适当规模的海水气化器(A12),以保证气化效率和天然气高压管网下游用户的正常运行。

在实际应用中,要根据工况背景、市场需求来确定上述冷能用户取舍及其规模,按照这种集成利用方式可使 LNG 冷能得到最大程度的回收利用,创造最大的经济价值和社会效益。

2 冷能利用工艺分析

2.1 轻烃分离^[3]

利用 LNG 的冷量能够以较低的成本将湿气中的轻烃资源分离出来,其利用温位在 $-150\sim-110^{\circ}\text{C}$ 。由于 LNG 中不同程度地含有 C_2+ 组分,从 LNG 中回收乙烷等重组分用于乙烯工程,不仅可以改善我国乙烯原料构成,降低能耗和生产成本,同时也可以缓解我国石油资源的短缺,因而具有显著的经济价值和社会价值。另一方面,基于已有过程能量综合优化的研究成果,对低温冷量换热网络与轻烃分离过程进行了集成优化,使利用 LNG 冷量将 LNG 分离为单体烃($\text{C}_1\sim\text{C}_3$)的同时,剩余冷量还能够将甲烷在低温下液化并在较低的压力下储存。

2.2 乙烯工程

从 LNG 中回收的乙烷等重组分,以乙烯作为工业原料用于乙烯工程,其利用温位在 -100 、 -75 、 -55°C 。因此,从轻烃分离出来的乙烷可以通过管道输送到附近的石化企业作为乙烯原料,并充分利用其冷能生产乙烯,利用轻烃替代石脑油作为乙烯裂解原料,这样乙烯装置投资可节省 30%,能耗降低 30%~40%,综合成本降低 10%,而且环境污染小。同时出于节省物流成本和安全方面的考虑,应在石化企业和乙烯厂附近建立。

2.3 空分与干冰制备联合工艺

低能 ■ 在越远离环境温度时越大,因此应在尽可能低的温度下利用 LNG 冷量。从这个角度讲,由于空分装置中所需的温度比 LNG 温度还低,其空分时 LNG 的低能 ■ 可得到充分利用。在空分冷却过程中温度在 -180°C 以上时,所需冷量大约为 230 MJ/t,而在空气有组分发生相变时所需冷量大约为

200 MJ/t。由于空分系统中的温度在 -190°C 左右,因此采用 LNG 冷量回收的方法后,可以充分利用 -162°C 的 LNG 的冷量,同时制冷机容易实现小型化,电耗减小 0.5 kWh,水耗减少 30%,大大降低了液氮、液氧的生产成本,具有可观的经济效益^[4]。把 LNG 冷量用于空分装置后,剩余的 -100°C 左右的 LNG 进一步升温的冷量用于干冰的制备。在干冰制备流程中,在 -78°C 前, CO_2 没有发生相变,冷却过程所需冷能大约为 100 MJ/t;当温度在 -78°C 左右时, CO_2 发生相变,大约吸收 350 MJ/t 的冷量,该工艺即为空分与干冰联合工艺技术。

2.4 深冷粉碎

我国是一个生胶资源相对短缺的国家,每年几乎生胶消耗量的 45% 需要进口,寻找橡胶原料来源及其替代材料是十分迫切的任务。因此,采取 LNG 冷能深冷粉碎橡胶^[5],对充分利用再生资源、摆脱自然资源匮乏、减少环境污染、改善人们的生存环境具有重要意义。橡胶深冷粉碎利用的是 $-130\sim-80^{\circ}\text{C}$ 的冷量,首先需要将橡胶从 27°C 冷却到 -90°C ,约需要冷能 425 kJ/kg,在 -90°C 时橡胶粉碎需要的冷量为 250 kJ/kg。根据目前世界橡胶冷冻粉碎技术,每粉碎 1 t 胶粉需要消耗冷量 423.5 MJ。废旧轮胎深冷粉碎技术需要将废橡胶冷冻到 -80°C 左右,将 LNG 冷能利用与废旧橡胶轮胎低温粉碎技术相结合,可以为精细胶粉的粉碎装置提供冷量,从而带来巨大的经济效益与社会效益。

2.5 冷库和水果冷藏

根据冷冻物品不同,冷库的温度可控制为 -42 、 -28 、 -15°C 。将 LNG 与冷媒在低温换热器中进行热交换,冷却后的冷媒经管道进入冷冻、冷藏库,通过冷却盘管释放冷量实现对物品的冷冻、冷藏。这种冷库不仅不用制冷机,节约了大量的初始投资和运行费用,还可以节约 1/3 以上的电力。

LNG 基地一般都设在港口附近,而大型的冷库基本也都设在港口附近,这样方便远洋捕获的鱼类的冷冻加工。在 LNG 接收站的旁边建低温冷库,可以利用 LNG 的冷能冷冻食品。为有效利用天然气冷能,可将食品冻结及加工装置、冷冻库、冷藏库及预冷装置等按不同的温度带连成一串,使冷媒、管路系统化。

2.6 冷能发电

若 LNG 的冷能以 100% 的效率转化为电能,那么 1 t LNG 的冷能相当于 240 kWh 的电能。在目前回收 LNG 冷能的诸多方法当中,应用较多的是利用

LNG 冷能发电,相关技术也较为成熟。其优势主要有 4 个方面:一是有利于优化和调整电源结构;二是有利于缓解环境保护的压力;三是可提高发电的能源利用效率;四是可减轻电网输电和电网建设的压力。

2.7 燃气轮机进气冷却

高效利用 LNG 冷能的一个重要途径就是发展燃气轮机冷热电联产系统及其联合循环电站,将 LNG 气化过程中产生的较高温度的冷量作为燃气轮机进气冷却的冷源。燃气轮机进气冷却要求的冷冻水温度为 $5\sim7^{\circ}\text{C}$,可将 $-20\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的天然气冷能进行利用。如果冷功率达到 6 000 kW,则可使 1 台 30 万 kW 的燃气轮机进气温度降低 $1.5\sim2.0^{\circ}\text{C}$,联合循环系统的发电量可增加 4 000~5 000 kW,发电效率大约可提高 0.5 个百分点。进气冷却部分装置投资很少,相当于在夏季增加了 1 台数千千瓦的调峰发电机组,因而具有相当好的经济效益和社会效益。燃气电厂与 LNG 接收站的距离将直接影响输气管道的投资和输气费用,从而影响到用户气价。为实现能源的综合利用,提高工程总体效益,可将发电厂和 LNG 接收站相关工艺连接,共同建设。

3 结语

随着 LNG 产销量的迅速增长和全球性能源的日益紧张,LNG 冷能利用的前景十分广阔。目前 LNG 冷量利用方式大都是单一利用技术,我国应该利用后发优势,开发 LNG 冷能梯级利用技术。根据温位匹配原则,建立了 LNG 冷量梯级利用工艺模型,简要分析了各种冷能用户的发展规模和前景,包括轻烃分离、乙烯工程、空分与干冰制备联合、深冷粉碎、冷库和水果冷藏、冷能发电、燃气轮机进气冷却等。这种集成方案充分利用 LNG 冷量,过程损失较小,节省了大量的能量,可带来巨大的经济效益和社会效益,适应可持续、节约型社会的发展战略。

参考文献

- [1] 王强,历彦忠,陈曦,等.液化天然气冷能分析及其回收利用[J].流体机械,2003,31(1):56-58.
- [2] 石玉美,汪荣顺,顾安忠.液化天然气接收终端[J].石油与天然气化工,2003,32(1):14-17.
- [3] 熊永强,李亚军,华贲.液化天然气冷量利用与轻烃分离集成优化[J].现代化工,2006,26(3):50-53.
- [4] 张社佑.低温技术原理与装置[M].北京:机械工业出版社,1987.
- [5] 杨艳丽,华贲,徐文东,等.低温粉碎橡胶技术在我国的发展前景[J].化工进展,2006,25(6):663-666. ■