

LNG冷能利用技术探讨

重庆大学城市建设与环境工程学院(400045) 周廷鹤 彭世尼

摘要 液化天然气(LNG)中含有大量的冷能,具有很高的经济价值。随着 LNG 用量的迅速增长以及全球性能源供应紧张形势的加剧,合理利用这些冷能显得尤为重要。本文介绍了 LNG 冷能利用的几个方法,并提出一个 LNG 冷能梯级利用的方案,以达到合理利用 LNG 冷能,减少焓损失的目的。

关键字 LNG 冷能 利用

Discussion of LNG Cold Energy Utilization Technology

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering ,Chongqing University

Zhou Tinghe Peng Shini

Abstract LNG contains a lot of cold energy, which has high economic value. With the rapid growth of LNG consumption as well as the intensified situation of the global energy supply tensions, the reasonable use of the cold energy is particularly important. This paper discusses several ways that how to use LNG cold energy in cascade mode on the basis of energy and quality matching and make use of the concept of energy, so as to use the cold energy reasonably and to minimize the energy loss.

Keywords LNG cold energy utilization

道和超声波传感器构成的测量结构图。它彻底摒弃以膜式燃气表为基础进行二次智能化改造的模式,解决了基表性能单一的问题,使现有智能化计量系统潜在功能得以充分发挥和优化,有利于综合成本的降低,效益提高。民用超声波燃气表涉及到以下 4 个部分:声道和流道结构(机械装置);流量测量主控电路(数字电路);发射接收模拟电路(模拟电路);软件程序。内容涉及流体力学、声学、机械、电子和软件等方面,是一个较大的综合性技术开发项目。就目前国内在许多方面如机械、数字电路、模拟电路以及软件等方面的技术水平和设计能力,已具备相应的开发能力,电子器件如时间数字转换等关键元器件已可以完全满足设计需求(已有的超声波水表和燃气表已经说明了问题)。只要技术路线与方案合理,如在 IC 卡表的基础上进行二次开发,应无太大的技术

障碍。目前国内,应用于燃气的超声换能器技术与国外还存在有差距,主要表现在民用气体超声探头的成本与稳定性上,但探头技术的发展十分迅速。探头的核心技术是压电陶瓷晶体特性,依据现代电子技术的发展史和规律,可以预期,随着现代电子技术的迅速发展和电子元器件的成本大幅度下降,中小型超声波流量表的制造成本也将随之大幅降低,其技术与应用也将会更加完善成熟。国内大型超声流量计,超声波冷热水表以及国外超声波燃气表的生产应用表明,超声波技术用于民用燃气表仅是一个时间的问题,若民用超声燃气表能够走向市场,将会对现有民用燃气表应用产生深远的影响。因此,无论是产品开发生产厂商或是应用管理方,做好前期相关技术研究、准备、跟踪或了解、把握相应的技术标准应是件很有意义的工作。

1 概述

随着我国对 LNG 需求的增加,在沿海地区将陆续兴建更多的 LNG 接收站。据中国石油和化学工业协会统计的数字表明:2005 年,中国进口液化天然气 483t,而 2006 年进口 67.75 万 t,增幅高达 1 400 余倍。按照这一势头,到 2010 年,中国每年将进口液化天然气 1 000 万 t,到 2015 年将达到 4 200 万 t^[1]。

LNG 经气化后输送给用户作为城市居民用气、工业燃料以及化工原料。在 LNG 气化过程中,约能产生 830 kJ/kg 的低温能量。通常这部分冷能通过天然气气化器被空气或海水吸收,其中包含的冷量焓未能得到利用,造成了能量的巨大浪费。如果将这些冷能利用起来,就可以节省巨大的能源。从节约能源的角度,积极寻求和高效利用冷能量有着重要意义。

2 LNG 冷能利用技术

LNG 冷能的利用过程可分为直接利用、间接利用两种。直接利用包括空气液化分离、发电、轻烃分离、液态乙烯储存、冷库、制液化 CO₂ 和干冰、海水淡化、空调、低温养殖等,间接利用包括低温破碎、冷冻食品、水和污染物处理等^[2,3]。

2.1 液化分离空气

常用的空气分离法是将空气液化,通过氟里昂冷冻机、膨胀透平制冷来进行空气的液化分离制成液态的氮气、氧气、氩气等。而 LNG 冷能用于空气分离则是通过循环氮气的冷却来实现的。

传统方式生产 1m³ 的液化空气大约需要 0.756kWh 的冷却能,而利用 LNG 的低温特性不但可减少建设费用,而且每生产 1m³ 的液化氧气需要的电力消耗也可从 1.2kWh 减少到 0.5kWh^[2]。由于可减少大量的电力消耗,利用 LNG 冷能进行空气分离得到充分的应用。通常的低温环境都是由电力驱动的机械制冷产生的,由制冷原理可知,随着温度的降低其消耗的电能将急剧增加。在一定的低温蒸发范围内,蒸发温度降低 1 K,能耗要增加 10%^[4]。利用回收的 LNG 冷能和两级压缩式制冷机冷却空气制取液氮、液氧,制冷机很容易实现小型化,电能消耗也可减少 50%,水消耗减少 30%,这样就会大大降低液氮、液氧的生产成本,具有可观的经济效益。此外,

低成本制造的液氮可以使 LNG 应用的温度领域扩展到更低的温度带(-196℃),如用于真空冷阱、生产半导体器件、食品速冻、低温破碎回收物料以及金属热处理等。利用制取的液氧还可以得到高纯度的臭氧,在污水处理方面用途很大。

LNG 冷能用于液化空气制液氧、液氮、液氩,在 LNG 冷能利用系统中被认为是最有效的利用方式。这是因为它的节能率高,也很少受到地点条件的限制,而且 LNG 巨大的冷能产出的液体氮量和液体氧量都很大^[5]。

2.2 LNG 冷能发电

利用 LNG 冷能发电属于对 LNG 冷能的直接利用。用 LNG 冷能发电是以电能的形式回收 LNG 冷能,主要是利用 LNG 的低温冷能使工质液化,然后工质经加热气化在气轮机中膨胀做功带动发电机发电。依靠动力循环进行发电是目前 LNG 冷能回收利用的重要内容,且技术相对较为成熟。利用 LNG 冷能发电的方式主要有下列 3 种:

(1)直接膨胀发电

从 LNG 储罐来的 LNG 经低温泵加压后,在气化器受热气化为高压天然气后直接驱动透平膨胀机,带动发电机发电,这个过程主要是利用了 LNG 的压力焓,冷能回收量取决于气轮机进出口气体的压力比。这种方法循环过程简单,所需设备少,但效率不高,发电功率较小,冷能回收率仅为 24%^[2]。但该方法适用于回收部分冷能,可考虑与其他 LNG 冷能利用方法联合使用。

(2)降低蒸汽动力循环的冷凝温度

该方法是利用某中间介质的朗肯循环。将低温的液化天然气作为冷凝剂,通过冷凝器,把冷量转化到某一介质上,利用液化天然气与环境之间的温差,推动介质进行蒸汽动力循环,从而对外做功。要有效利用液化天然气的冷能,工作介质的选择非常重要。工作介质有甲烷、乙烷、丙烷等单组分,或者采用它的混合物。单工质朗肯循环系统一般使用纯甲烷或乙烯,实际装置的冷能回收率约 18%。混合工质朗肯循环系统的工质为碳氢化合物的混合物,整个系统的冷能回收率约 36%^[3]。

目前采用最为广泛的是将以上 2 种方法联合使用。这可使冷热能的回收效率大大提高。即使天然气的输送压力提高也可回收相当多的冷热能,能量的

利用率比 2 个单独的系统要高,但冷热能的回收效率也只能达到 36%,发电量可达 $45\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}(\text{LNG})$ 左右。

(3)降低气体动力循环的吸气温度

燃气轮机循环是气体动力循环的一种形式。研究表明,降低燃气轮机的吸气温度,将会显著提高循环做功和循环效率^[6]。实际中,通常利用 LNG 冷能预冷空气,以提高机组效率,增加发电量。由于 LNG 的气化温度较低,因此,采用一种易挥发的物质作为中间载冷剂,将冷能传递给空气。但冷却温度须严格控制在 0°C 以上,以防止水蒸气在冷却装置表面冻结。此方式的发电量可以达到 $20\text{kWh}/\text{t}(\text{LNG})$ 左右。

LNG 的冷能发电是一项新兴的无污染发电方式,虽然这不失为一种节能的好方法,但它只考虑到对 LNG 冷能的回收利用,并未注意到对 LNG 冷能品位的利用。这种方法对冷能的回收效率是非常低的。由于生产 1t LNG 要消耗 $850\text{kW}\cdot\text{h}$ 能量。即使 LNG 拥有的冷能以 100% 的效率转化为电力, 1t LNG 的冷能也只相当于 240kWh 。所以,在发电装置中利用 LNG 冷能虽然是最可能大规模实现的方式,但却不是利用 LNG 冷能最科学的方式。

2.3 制取液化 CO_2 及干冰

传统的 CO_2 液化工艺将 CO_2 压缩至 $2.5\text{MPa}\sim 3.0\text{MPa}$,再利用制冷设备冷却和液化。利用 LNG 冷能则很容易获得冷却和液化 CO_2 所需要的低温,从而将液化装置的工作压力降至 0.9MPa 左右。与传统的液化工艺相比,制冷设备的负荷大为降低,耗电量也可降低 30%~40%。以化工厂的副产品 CO_2 为原料,利用 LNG 冷能制造液化 CO_2 及干冰,不但耗电量小,而且产品的纯度可高达 99.99%^[7]。

2.4 冷冻仓库

LNG 基地和大型的冷库基本都设在港口附近,所以,回收 LNG 冷能供给冷库是很方便的冷能利用方式。利用 LNG 冷能作为冷源的冷库,将载冷剂冷却到一定温度后经管道进入冷冻、冷藏库,通过冷却盘管释放冷能,实现对物品的冷冻、冷藏。

虽然冷库使 LNG 的冷能几乎无浪费地利用,且不用制冷机,降低了系统造价及运行费,但一般的冷库只需维持在 $-50^{\circ}\text{C}\sim -65^{\circ}\text{C}$ 即可,而将 -162°C 的 LNG 冷能全部用于冷库制冷是不必要的。为有效利用天然气冷能,可将低温冻结库或低温冻结装置、冷

冻库、冷藏库及预冷装置等按不同的温度带串联。这种方式按 LNG 的不同温度带,采用不同的载冷剂进行换冷后依次送入低温冻结库或低温冻结装置(温度为 -60°C)、冷冻库(温度为 -35°C)、冷藏库(温度为 0°C 以下)、预冷装置(温度为 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$)^[7],这样 LNG 冷能的利用率将大幅提高,运行成本较机械制冷下降 37.5%。

2.5 低温粉碎废弃物

轮胎、塑料以及其它成分组成的合成物在常温下不易粉碎,但都具有低温脆性,当温度降低到一定程度时,其冲击强度降低,只需要很小的动力就可以将其粉碎。因此,在废弃物粉碎领域,利用 LNG 冷能是一种很好的方法。利用 LNG 冷能先冷却液体氮,再用液氮冷冻废弃物,最后粉碎废弃物。

金属也有着与橡胶或塑料相近的低温脆化特性,利用这一低温脆化特性,用冷能来粉碎由金属、电子器件、塑料器件和橡胶等构成的废弃汽车,然后再对废物进行回收利用。粉碎废物后重新加以利用,既能减轻环境污染,又能回收资源,因而将粉碎废物与资源回收利用相结合是一项有意义的工作。

2.6 其他利用方法^[2,3,9]

(1) LNG 冷能回收在 LNG 汽车及汽车冷藏车中的应用

随着 LNG 汽车的不断发展,LNG 用作汽车清洁燃料的同时,可将其冷能回收用于汽车空调或汽车冷藏车。这样就无需给汽车单独配备机械式制冷机,既降低了造价,又消除了机械制冷的噪声污染,具有节能和环保的双重意义,是一种真正的绿色汽车,尤其适用于有噪声限制的地区^[10]。

(2) 蓄冷装置

LNG 主要用于发电和城市燃气,因此 LNG 的气化负荷易随时间和季节发生波动。LNG 冷能的波动易对冷能利用设备的运行产生不良影响,必须予以重视。日本大阪煤气公司研究的 LNG 蓄冷装置,利用相变物质的潜热储存 LNG 冷能。在白天 LNG 冷能充裕时,相变物质吸收冷能凝固;在夜间 LNG 冷能供应不足时,相变物质融化,释放冷能供给冷能利用设备。

(3) 轻烃分离

LNG 冷能用于 C_2 分离和裂解制乙烯装置中的裂解产物深冷分离,是 LNG 冷能利用的极佳途径。

LNG 冷能用于轻烃分离的主要产品 C_{2+} (主要为乙烷、丙烷和少量丁烷)既可以进一步分离,作为丙烷和 LPG (主要成分是丙烷和丁烷)分别出售,又可将其作为制取乙烯的工业原料,并可用作乙烯裂解装置中 C_{2+} 的分离及乙烷与乙烯的分离,降低其生产成本,市场前景都非常乐观。

3 LNG 冷能的梯级利用

上述种种利用方法主要是只考虑了冷能的回收,而没有考虑品位的利用,造成大量焓损耗,从能量有效利用的角度来看是不合理的。而对 LNG 冷能进行梯级利用是很好的解决办法^[1]。

根据以上利用方式的温度范围提出一个梯级利用方案如下:

液化分离空气 $\Rightarrow$ 制取液化 CO_2 及干冰 $\Rightarrow$ 冷冻仓库

空气分离须在 $-150^\circ C \sim -190^\circ C$ 范围内进行,而 LNG 的气化温度是 $-162^\circ C$,二者是相匹配的。因此,将 LNG 冷能用于液化分离空气作为梯级利用的第一级可以充分的利用 LNG 的低温特性。

LNG 在空分设备中换热后的温度约为 $-100^\circ C$,此温度仍与环境温度存在很大的温差,可以利用的冷能仍很可观。 CO_2 的液化温度是 $-70^\circ C$,干冰温度为 $-78.5^\circ C$,此温度与 LNG 通过空分设备后的温度相匹配,因此,将 LNG 冷能用于制取液化 CO_2 及干冰作为梯级利用的第二级。

LNG 冷能制取液态 CO_2 和干冰之后,温度仍低于环境温度很多,可以考虑将剩余冷能用于冷库。冷库的温度大致在 $-60^\circ C \sim 10^\circ C$,此温度范围正适合作为 LNG 冷能梯级利用的第三级。

此时 LNG 气化的天然气温度已接近所需的供气温度。经供气前处理后可对天然气用户进行供气了。LNG 从储罐出来,经过这三级冷能利用设备,

温度不断升高,同时各级热交换温度匹配良好,基本上达到了充分利用 LNG 冷能的目的。

4 结语

随着 LNG 产销量的迅速增长,以及全球性能源的紧张,LNG 冷能利用的前景十分广阔,合理利用这部分冷能显得尤为重要。对于 LNG 冷能的利用,梯级逐层利用是提高效率的有效途径。LNG 冷能的利用应朝着集成化的方向发展,充分的、综合的、有效的利用 LNG 冷能。

参考文献

- 1 张抗,庞名立.世界 LNG 生产现状与前景[J].国际石油经济,2005(10):55~59
- 2 高文学,王 启,项友谦.LNG 冷能利用技术的研究现状与展望[J].煤气与热力 2007(9): 15~21
- 3 李静,李志红,华贵.LNG 冷能利用现状及发展前景[J].天然气工业,2005 (5): 103~105
- 4 张中秀,周伟国.利用液化天然气冷能的空气分离技术[J].煤气与热力,2007(6):18~21
- 5 邵铁民.LNG 冷能及其利用[J].油气储运,2006 (11):41~44
- 6 贺红明,林文胜.基于 LNG 冷能的发电技术[J].低温技术,2003.34(6):432~437
- 7 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
- 8 陈则韶,程文龙等.一种利用 LNG 冷能的空气分离装置新流程[J].工程热物理学报,2004.25(6):913~916
- 9 任先正,顾安忠,袁峻峰.积极发展 LNG 冷能回收产业[J].上海节能
- 10 王强.液化天然气冷能火用的特性及在汽车制冷中的回收利用[J].西安交通大学学报.2003(3):294~296
- 11 葛铁群,章学来,赵兰等.LNG 冷能的梯级利用[J].制冷技术,2006(3):14~16

+++++