

液化天然气热值调整工艺分析

郝琼

陕西延长石油天然气股份有限公司

[摘要]液化天然气市场的快速发展,突破了传统管道输气的局限,为我国天然气市场快速发展提供了机遇。国际LNG贸易普遍采用热值计量方式,而国内LNG贸易仍采用体积计量方式,但热值是LNG价值的体现,若将不同热值的LNG按同一价格销售将影响着天然气用户的经济利益,且某些特殊行业对LNG热值要求较为严格。本文依据低热值或无热值流体稀释LNG调低热值的理念,对液化天然气热值调整工艺参数计算及流程设计进行简的分析与阐述,确保成品LNG的氮含量符合国家标准,通过工艺参数计算,设计出LNG热值调整和BOG再液化的组合工艺流程及用于试验的电气系统和自动控制系统。

[关键词]:液化天然气;热值调整;BOG冷凝;喷射混合器;工艺参数

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.1446

引言

随着世界经济的发展,能源消耗日益增长,石油、煤炭等传统能源消费急剧增加,随之带来了严重的环境污染问题,在人们环保意识的增强及环保监管日趋严格的背景下,天然气作为一种清洁高效能源得到了广泛应用。目前,中国国内LNG贸易遵循体积计量方式,国外LNG普遍采用热量计量方式,体积计量方式虽然容易操作但是不能反应天然气本质,天然气作为燃料,燃烧后产生的热量即热值才是其价值体现,热量的多少应该对应价格的高低,在贸易中不同热值的天然气若按照体积计量方式销售,将对企业及用户产生一定的经济影响。为调整LNG热值以满足天然气用户使用要求和天然气互换性规定,实现市场贸易公平性,从而开展LNG热值调整研究对节能减排政策实施具有重要的意义。

一、液化天然气热值调整工艺流程

(一)液化天然气热值调整工艺参数

1.工艺参数计算

为实现液化天然气热值调整及BOG再液化,基于低温物体互溶混合机理,在选用低热值或无热值流体对LNG稀释调整热值的基础上,选择原料LNG与液氮及BOG三者互溶混合后得到成品LNG,从而实现LNG热值调整和BOG再液化,其中LNG储罐中BOG的产生量已由深圳燃气集团通过试验测得,在进行工艺设计时,通过计算或查表得出其他参数。

(1)热值。天然气热值主要由其组分含量决定,分高位热值和低位热值,高位热值即单位体积的气体完全燃烧后其烟气被冷却至原始温度,其中的水蒸气完全冷凝时释放出的

热量。低位热值即单位体积气体完全燃烧,其烟气被冷却至原始温度,所生成的水蒸气保持气相时释放出的热量。

(2)沃泊指数。饱和温度为液体和蒸汽处于动态平衡状态时的温度,是BOG冷凝和液氮蒸发的关键参数,对于纯物质而言,饱和温度可由Antoine方程得到。压力不高时可将LNG默认为纯物质,求出对应的Antoine常数,从而得到LNG的饱和温度。

(3)汽化潜热。温度一定时,单位质量的某种液体物质在汽化成饱和蒸汽的过程中所吸收的热量为该物质的汽化潜热,当绝对压力一定时,纯物质的汽化潜热是其饱和温度的单值函数。

(4)比热容。比热容即单位质量的某种物质升高或下降单位温度所吸收或放出的热量。

(5)焓值。利用余函数法,结合LKP方程计算液化天然气的焓值,其实际焓值分别等于某状态下理想焓余焓之和。

2. BOG及液氮流量计算

选用化工流程模拟软件Aspen Plus的混合模块对LNG和液氮混合进行模拟,物料对照表及工艺初始条件。

根据GB/T 19204-2003《液化天然气的一般特性》,LNG中氮摩尔含量应小于5%,因此,在LNG与液氮的混合过程中,当LNG流量一定时,设定原料LNG和液氮的压力分别为0.22MPa.G和0.1MPa.G。

原料LNG的压力和流量由深圳燃气集团初步确定,在此压力和流量基础上设定液氮流量,使氮含量符合国标要求,Aspen Plus仿真模型进行模拟计算时忽略系统能量损失,得

表1 LNG与液氮混合模拟计算结果分析表

FEED2流量kg/h	温度K	压力MPa.G	流量kg/h	FEED3焓kJ/kg	气相分率%	氮含量mol %	甲烷含量mol %
140	106.55	0.1	2827	-5118.4	2.9	3.83	92.36
150	106.35	0.1	2837	-5101.9	3.0	4.03	92.16
160	106.15	0.1	2847	-5085.5	3.2	4.24	91.97
170	105.95	0.1	2857	-5069.3	3.3	4.44	91.77
180	105.75	0.1	2867	-5053.1	3.4	4.65	91.57
190	105.55	0.1	2877	-5037.1	3.6	4.85	91.38
200	105.35	0.1	2887	-5021.0	3.7	5.05	91.19
210	105.15	0.1	2897	-5005.3	3.8	5.25	90.99
220	104.95	0.1	2907	-4989.6	4.0	5.45	90.80
230	104.75	0.1	2917	-4974.1	4.1	5.65	90.61

出在不同液氮流量下混合物中各参数。

随着液氮流量的增加，混合流体中气相分率和氮摩尔含量均呈上升趋势，当液氮流量为197kg/h时，氮摩尔含量为5%，继续增大液氮流量时氮摩尔含量将超过标准规定值，因此，当LNG流量为2687kg/h时，液氮流量应小于197kg/h。

（三）热值调整工艺流程主要设备

1. 气液喷射混合器。气液喷射混合器为实现原料LNG、液氮及BOG快速混合的主要设备，其结构简单，易于操作，主要依据流体动力学原理，没有机械能的直接消耗，不同流体在混合器内完成传热传质后实现均匀混合。选用某型号的气液喷射混合器其材料为S31603，设计压力为0.8MPa，设计温度为-196℃。

2. LNG槽车。LNG槽车盛装原料LNG，自带增压装置，其内容器设计压力为0.65MPa.G，外壳设计压力为-0.1MPa.G，设计温度内容器设计温度为-196℃，外壳设计温度为50℃，全容积为52.6m³，额定充装率为90%，采用高真空多层绝热方式。

3. 液氮气瓶。液氮气瓶盛装液氮，采用高真空多层绝热，为试验提供连续稳定的液氮输出，公称容积为455L，工作压力为1.59MPa。

4. 质量流量计。根据测量液体的常用流量和最大最小流量，选取合适量程的DMF型质量流量计。质量流量计采用RS485标准两线制连接，带有Modbus RTU通讯协议，可将气体、液体等物理流量参数数字信号转变成标准的4~20mA DC电信号在上位机显示。

5. 可燃气体报警仪。可燃气体报警仪具有先进的微机处理技术，主要由气体报警控制器和气体报警探测器两大部分组成。气体报警探测器采用防雷保护的RS485总线式连接，具有隔爆功能，响应时间短，工作电压为DC24V，可将浓度数字信号传输到控制器进行控制并发出报警。气体报警控制器采用RS485总线式的接线方式，可实现多通道气体浓度同时显示，能自由设置低级报警点，可将气体浓度数字信号转换为电信号传输到上位机进行实时检测。

6. 附属设备。液化天然气热值调整系统附属设备包括各种流体输送的低温管道，控制管道内流量的电磁流量调节阀，以及从试验安全角度考虑从而配备安全阀、截止阀、防静电装置及消防设施等。

二、液化天然气热值调整工艺流程设计分析

（一）设计依据

液化天然气热值调整工艺流程设计将严格遵照国家相关的法律法规、技术规范和技术标准设计，包括但不限于以下所列，并且采用最新的有效版本。

《天然气》GB17820-2012

《液化天然气（LNG）生产、储存和装运》GB 20368-2012

《城镇燃气设计规范》GB 50028-2006

《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183-2015

《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976-2012

《化工装置自控专业设计管理规范》HG/T 20636-2017

《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》GB 50493-2009

（二）设计原则

在成品LNG中各组分含量符合GB/T 19204-2003《液化天然气的一般特性》，并满足GB 17820-2012《天然气》热值规定和天然气用户使用要求的前提下，为适应不同用户对LNG热值的不同需求和避免能源浪费，主要利用喷射混合器实现LNG、液氮及BOG三种流体互溶混合，通过改变液氮含量实现原料LNG组分含量的变化，并利用液氮冷量对部分BOG冷凝，从而达到LNG热值调整和BOG再液化的目的，为此设计出以液化天然气热值调整为主部分BOG再液化为辅的组合工艺流程。工艺流程在符合国家有关建设法规，仪表、控制专业现行规范规程，保证系统安全可靠的基础上，使整个系统达到技术先进、经济合理、符合环保的要求，且能保证系统运行稳定、操作方便和易于维护，工艺流程尽可能简单并减少压缩机和压力容器的使用，使功耗达到最低，经济效益较为显著且具有广泛的应用价值。

（三）工艺流程设计

根据原料LNG、液氮及BOG的流量压力等有关参数的初步计算，确定合理的管路管径，选用合适的低温阀门、质量流量计、气液喷射混合器及其他附属设备，设计出液化天然气热值调整工艺流程，主要包括原料LNG输送，液氮输送，LNG、液氮及BOG混合系统、控制系统及成品LNG储存。系统运行时，原料LNG通过管路进入喷射混合器主流体入口，同时打开液氮管路阀门，使液氮经管路进入混合器次流体入口实现与原料LNG的混合，改变原料LNG中的氮含量，从而得到改变了热值的成品LNG。数据采集系统分析成品液管路中LNG组分中氮摩尔分数，当多组分分析仪检测到氮摩尔分数高于或低于设定值时，自动控制相应的阀门开度调小或调大，调节液氮流量。当成品LNG储罐中的BOG达到一定量时，自动打开BOG管路阀门使其通过管路进入喷射混合器内，利用液氮的冷量实现部分BOG冷凝，使整个系统在LNG热值调整的基础上达到BOG再液化的目的。

三、结语

本文简单的通过LNG热值及其他物性参数的介绍，通过计算及查表得出的相关参数，依据国家相关标准进行了LNG热值调整及BOG再液化组合工艺流程及试验系统的设计，根据国家相关标准，保证成品LNG中氮摩尔含量低于5%，当原料LNG流量为2687kg/h且保持稳定时，运用Aspen Plus软件计算得到液氮最大流量为197kg/h。根据相关参数选择合适管径的无缝钢管、低温阀门及质量流量计等设备，从而设计了LNG热值调整及BOG再液化组合工艺流程。

参考文献

[1]吴谋远, 殷冬青, 何春蕾, 余岭, 谢薇, 刘畅. 我国需加快推行天然气热值计量计价改革[J]. 国际石油经济, 2018, 26(04): 38-41+59.