

LNG加气站BOG再液化工艺研究及经济性研究

李俊平 张伟 杨霞霞

山西燃气工程高级技工学校 山西 晋中 030600

[摘要]LNG加气站在运营过程当中,需要率先考虑蒸发气的处理问题,它与加气站的安全平稳运行息息相关。由此,以BOG产生量静态计算模型为基础,利用BOG液氮冷量的再液化装置,在LNG加气站中的使用进行工艺研究与经济效益分析,能够最大程度降低LNG加气站的能源浪费,并且在一定程度上使加气站降低了BOG的排放量,为保护环境做出贡献。针对BOG再液化装置的再液化能力,对其进行试验与分析,以加气能力为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的加气站作为研究基础,探究在加气站基础上,对于BOG再液化工艺的持续投资问题。

[关键词]LNG加气站; BOG; 液氮冷量; 再液化; 经济性分析; 零排放

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.432

0 引言

LNG是液化天然气的简称,以甲烷为主要成分,同气态天然气体积相比,液态天然气的体积更小,是一种清洁型能源,对环境污染性较小。且随着技术发展,城市内汽车、船舶、发电等工业领域,已将天然气作为主要燃料,由此导致LNG应用量不断增多,使得LNG加气站的数量也随之增多。LNG本身为低温液体,其沸点较低,并且在存储过程中,会同外界吸收环境热量,从而产生蒸发气,简称为BOG。当BOG经过空温室气化器复热后会进入到火炬系统,会造成资源浪费、污染环境的情况,还会造成经济损失。对此,本文针对LNG加气站中BOG直接放散所造成的负面影响。进行模型计算,探究BOG再液化回收后,所获得的经济效益,而是否具有探究价值。

1 LNG加气站BOG静态计算模型

在LNG加气站当中,主要是由于储气罐漏热、槽车卸车时与储罐容积置、潜液泵工作、加气机遇冷和车载气瓶充液等原因导致BOG情况发生。由此设LNG加气站BOG总产生量为G,则由此探究,在不同情况下LNG加气站所产生BOG的实际量。

1.1 LNG储罐漏热产生的BOG量

在我国LNG储存过程当中,储罐使用的是新型高性能的绝热材料,避免天然气同外界空气接触产生爆炸危险,但无论使用什么绝热材料,外界环境热量总会传导到储罐内部,使得低温液态天然气出现蒸发的情况,进而产生BOG。因此,BOG蒸发量的计算公式为,储罐静态蒸发率、储罐充装率、LNG密度、储罐有效容积相乘,并除以24得出BOG蒸发量 G_1 。

1.2 槽车卸车与储罐容积置换产生的BOG量

在槽车卸车的过程当中,LNG会经由槽车进入到储罐内部,而与此同时,BOG也会从储罐进入到槽车当中,在此过程当中,BOG是由于槽车自然蒸发与槽车容积置换所产生的。因此,需要对槽车卸车与储罐容积置换过程中,产生的BOG量进行计算与分析。其中槽车静态蒸发率、槽车有效容积、LNG密度三个指数相乘,除以24,加上卸车时进料速度与BOG密度相乘,除以LNG密度,并乘上槽车数量,就能够得出BOG蒸发的量。

1.3 LNG潜液泵产生的BOG量

利用槽车卸车与加气枪,为车载气瓶进行充液时,其动力来源主要是低温潜液泵。在低温潜液泵工作时,需要将机械能转化为热能,由此也会产生大量BOG。其计算方式是为潜液泵效率与潜液泵功率同3600相乘,除以LNG气化潜热,才能得到明确的BOG的量。

1.4 预冷LNG加气机产生的BOG量

LNG加气枪需要对其定期进行检查,如若LNG加气枪长时间未启用,则在下一次启用时,需要将加气枪插入到插枪口当中进行预冷。对加气管道与加气机自身进行预冷操作,才能够进行LNG的加气。在此过程当中,过冷的液体气化会产生BOG。其产生的量计算方式为3.6乘以加气管道的冷损与加气管道的总表面积,并除以BOG气化潜热,进而能够得到预冷LNG加气机,在此过程中产生的BOG量。

1.5 LNG车载气瓶充液产生的BOG量

利用潜液泵BOG对LNG进行加压,从而通过加注枪为车载气瓶进行冲液。此时,车载气瓶压力与LNG压力之间会有压力差,在压差的作用下也会促使BOG的产生。因此,加气压下BOG的密度,减去气瓶压力下BOG的密度,乘以气瓶容积,除以单个气瓶充液时间,就能够得到LNG车载气瓶充液所产生的BOG量。

2 实例计算及分析

LNG加气站工艺流程主要包括待机流、卸车流程、调压流程与加速流程。需要运用LNG储罐增压器、高真空潜液泵池和LNG加气机作为主要设备,维持LNG加气站的运行。在此过程中,BOG是在各个流程阶段都会动态产生的。因此,对各个部分的BOG产生量进行模型计算步骤较为繁复,需要利用Fluent软件和数值求解方法,对BOG进行量的计算。在计算过程中,对于LNG组分、气化潜热、密度与空气压力等参数以定值处理。对此,确定LNG沸点为 -160.7°C ,密度为 $432.88\text{ kg}/\text{m}^3$,气化潜热为 $494\text{ kJ}/\text{kg}$,BOG的密度为 $0.6\text{ kg}/\text{m}^3$,操作的条件在 -120°C ,当LNG加气站对储罐进行槽车充液过程中,需要搭配卸车增压器配合泵,从而减少卸车时间。LNG有 50 m^3 的可用空间,平均四分钟加气一台车,每天加气时间平均为3.33小时。通过对BOG产生量的计算,能够看出在固定时间内,当潜液泵循环工作时,会产生更多的BOG。而在对槽车卸车、给车载气瓶充液时进行压力控制,则能够使BOG的产生量相对减少。当 $1.5 \times 10^4/\text{m}^3$ LNG加气站运行时,在各个阶段所产生的BOG的量能够达到 $320\text{ kg}/\text{d}$ 。将所产生的BOG全部进行收集并液化处理,则每年所回收的BOG量能够满足518辆容积为500L在车载气瓶充液。

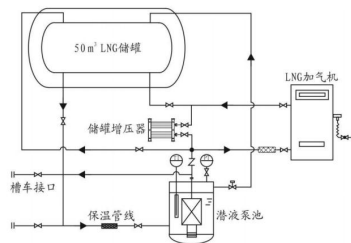


图1 为LNG加气站工艺流程
表1 为LNG加气站技术性能参数

项目	参数
容器类别	Ⅲ类
储罐公称容积/ m^3	50
储罐最大工作压力(绝压)/MPa	1.5
储罐设计温度/ $^\circ\text{C}$	$-162/50$
日蒸发率/%	0.25
充装率/%	95
潜液泵功率/kW	11
潜液泵效率/%	65
加气流量/ $(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	0~200
无故障工作时间/h	≥ 500
加气系统计量误差/%	± 1.0

表2 为LNG加气站BOG产生量静态计算结果

工况	BOG产生量/(kg·h ⁻¹)
储罐漏热	2.14
槽车卸车	12.17
潜液泵循环	52.10
预冷加气机	1.14
车载气瓶充液	0.01

3 BOG再液化装置设计与计算

3.1 BOG再液化工艺流程

在LNG加气站进行BOG回收的过程当中，其工艺方式一般有BOG直接压缩工艺，与BOG蓄冷式再液化工艺。其中直接压缩工艺是通过压缩机进行加压，使经过缓冲罐的BOG受到外输管网的压力，而后进行计量、加臭后，直接连接到民用燃气管网当中进行回收。而蓄冷式再液化工艺是借助低温压缩机进行加压，使BOG再液化形成LNG，经过空温室气器气化后，再进行使用。这两种方式均能够将槽车卸车、潜液泵工作、车载气瓶充液过程中，所产生的BOG进行回收与利用，既能够降低LNG加气站的能源损耗，提高经济效益，同时降低了对环境的污染程度。在LNG加气站进行BOG再液化过程中，可以借助氮气进行工艺处理。在回收与再压缩BOG时，在再液化的装置当中安装液氮储罐、BOG/液氮换热器、LNG收集罐与N₂加热器、管路阀门等相关装置，将LNG在各输送阶段所产生的BOG，输送至BOG/液氮换热器当中进行液化，而后收集至LNG收集罐。当达到一定的收集量时，将其回流至高真空潜液泵池当中，与储罐内的LNG混合后，共同为车载气瓶进行充液。该种方式能够最大限度的降低BOG的排放，形成独立的再液化体系，并且对原本的装置不产生负面影响，且成本较低，操作难度较低。

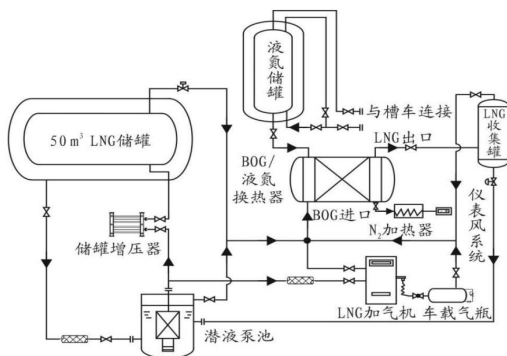


图2 为LNG加气站BOG再液化工艺流程图

3.2 BOG再液化能力

3.2.1 液氮消耗量计算

在对LNG加气站BOG进行再液化工序的过程中，利用液氮的冷量进行再液化工艺。在不考虑BOG再液化装置冷损的情况下，计算液氮的消耗量。需要将LNG加气站运行时所产生的BOG的量，乘以BOG气化潜热并除以液氮气化潜热，进而得出，在对BOG进行再液化过程中所使用的液氮量。根据LNG加气站的实际情况进行数据计算，能够大致得出，针对1kg的BOG进行再液化工艺，需要耗费1.92kg的液氮。

3.2.2 BOG/液氮换热器热力计算

BOG/液氮换热器是BOG再液化工序当中的核心装备，为使BOG达到完全液化状态，则需要考虑换热器的换热面积，由此，需要进行再液化工艺前，对换热面积进行计算。需要将液氮气化潜热与液氮消耗量相乘，除以换热系数与换热对数平均温差乘后的系数，进而得出换热面积。通过公式对LNG加气站中BOG再液化时，所需要的换热面积进行计算，能够得出换热面积为1m²的换热器，能够保证再液化回收工艺设计的回收效率。

4 BOG再液化经济效益分析

4.1 BOG再液化收益计算

在LNG加气站当中，对BOG进行回收再液化，使其在通过再液化工艺进行，经济利润叠加。当假设LNG加气站产生322kg/d的BOG时，利用再液化体系对其进行回收与利用，目前根据市场价，天然气平均每吨7400元，因而单价销售额在7.4元/kg。将LNG加气站当中的BOG进行液化，使其成为LNG，每年按330天计算其收益，所得年收益约为78.6万元左右。按照BOG在再液化过程当中的实际液化率95%来计算，则每年对进行回收，所带来的收益能够达到74.7万元左右。

4.2 总投资费用估算

在对BOG进行回收，再液化工艺需要率先制备工艺设备，因此需要选用新型高效的BOG再液化设备进行工艺流程设计，满足LNG加气站的需求。根据目前国内加气站设备的价格进行估算，总投资费用大概达到42万元。其中5m³液态储罐约10万元，1m²的BOG液氮换热器约为3万元，3m³的LNG收集罐约5万元，N₂加热器约1万元，低温管道阀门约10万元，安装工程费与运输费约5万元，包括其他不可预见费用8万元。

4.3 年总成本费用估算

在LNG加气站建设BOG再液化工艺基础设施，需要购置原料并招聘人员进行BOG的回收与再液化的程序运转。由此，需要增添原料费与工人薪资费用、人员福利费用。同时，设备在使用过程中还需要对其进行维修，设备也会折旧，会根据年限进行折旧费的清算。BOG再液化设备总体使用过程中，需要安排专门的管理人员对其进行管理，切实对设备的各个配件进行定期检查。因此，年总成本费用需要算是需要将液氮到达加气站的费用与人工成本、设备维修与折旧费用共同核算，总成本约为28万左右。

项目	费用/万元
原材料费	16
人工工资及福利费	3
制造费用	3
管理费	3.5
其他费用	2.5
总计	28

4.4 经济效益分析

经上文分析，BOG再液化装置前期投资需要42万元，中期运营需要28万元，将全部的进行再液化处理，大约能够获得74.7万元的收益。以3%营业税税额和25%所得税率进行计算，对LNG加气站进行BOG的再液化回收处理，其收益率要远大于对石油的投资收益率，因而具有较高的经济效益。

5 结束语

综上所述，需要进一步推进BOG再液化工艺在LNG加气站的投入使用，对其收集处理能力进行数据分析能够得知，以液氮为基础，对BOG进行回收再液化使用是具备可行性的。且从前期投入与后期收益来看，能够达到前期投入的收入预期，具备较高的经济效益与经济回报性。

参考文献

- [1] 焦纪强, 彭斌, 张春燕. LNG加气站BOG再液化工艺研究及经济性分析[J]. 石油与天然气化工, 2017, 46(06): 45-50.
- [2] 魏红梅. LNG加气站BOG的产生及处理工艺研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2016.
- [3] 廖晓梦, 张响, 伍婷. LNG加气站BOG用于站内生活用气的可行性探讨[J]. 石油与天然气化工, 2016, 45(05): 43-45.
- [4] 陈子如, 夏云峰, 姚三三, 李鸿军. LNG/LCNG加气站蒸发气体回收利用可行性的探讨[J]. 石油库与加油站, 2014, 23(06): 11-14+5.
- [5] 陈子如, 夏云峰, 姚三三, 李鸿军. LNG/LCNG加气站BOG回收利用可行性探讨[J]. 石油商技, 2014, 32(05): 84-89.