

# LNG接收站BOG再冷凝工艺模拟及分析

李立婉, 万宇飞

(中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室,  
城市油气输配技术北京市重点实验室, 北京 102249)

**摘要:**以国内某LNG接收站气源及设备操作参数为依托,利用Aspen Hysys软件建立对LNG接收站BOG处理工艺流程模型。通过控制再冷凝器气相出口流率,改变LNG流量得到BOG完全再冷凝所需最小LNG量。同时,利用单因素分析法,模拟分析BOG流量、LNG低压泵出口压力、BOG压缩机出口压力及气源气质对BOG再冷凝工艺的影响,可以看出,再冷凝工艺系统所需LNG量与BOG流量呈正线性变化关系;在一定压力范围内,再冷凝工艺系统所需LNG量随BOG压缩机出口压力增加而减小;超出一定压力后,再冷凝工艺系统所需LNG量随BOG压缩机出口压力增加而增加;再冷凝工艺系统所需LNG量随LNG低压泵出口压力增加而增加;甲烷含量越高的LNG,其BOG中甲烷含量越少,冷凝单位质量BOG所用的LNG用量越少。

**关键词:** LNG;再冷凝;BOG;Hysys

**中图分类号:** TE83;TE88

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2014)06-0129-04

## Simulation and analysis on BOG recondensation process of LNG receiving station

LI Li-wan, WAN Yu-fei

(National Engineering Laboratory for Pipeline Safety, Beijing Key Laboratory of Urban Oil and Gas Distribution Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Based on a domestic LNG receiving station, a BOG recondensation process has been modeled with the software of ASPEN HYSYS. The minimum amount of LNG needed for recondensation can be gotten by controlling gas flow rate and changing LNG flow. With the Single factor analysis method, the effect of BOG recondensation can be simulated with variables. The result shows that the minimum quantity of LNG and BOG flow have a positively linear relation. In a certain pressure range, the amount of LNG decreases with increasing the outlet pressure of BOG compressor. However, when the outlet pressure is beyond the range, the amount of LNG needed increases. The quantity of LNG increases with increasing the outlet pressure of LNG compressor. More contents of methane in LNG lead to less content of methane in BOG and less amount of LNG needed.

**Key words:** LNG; recondensation; BOG; Hysys

随着我国节能环保政策的大力实施,液化天然气(LNG)产业得到了快速发展,广东、福建、大连、上海等沿海城市陆续建成了LNG接收站<sup>[1]</sup>,中国即将成为世界LNG消费大国。在LNG接收站内,储罐吸热、LNG进料或出料时的体积置换、保冷循环管道吸热等原因都会产生大量闪蒸气(boil off gas, BOG)气体,除一部分BOG气体需返回LNG船舱填补出料真空外,其余BOG均需在接收站处理。对BOG进行处理,一方面是为了维持LNG储罐的压力恒定,约为10~17 kPa,另一方面,外部LNG从罐顶送入时产生的容积置换,也要求排出BOG气体<sup>[2]</sup>。因此,如何合理处理BOG气体,达到节能减排效果,直接影响到LNG接收站生产运营的经济性、安全性和环保性<sup>[3]</sup>。

## 1 BOG的产生

在非卸料期间,BOG主要来自储罐的自然蒸

发、启动罐内泵和循环保冷管线漏热<sup>[4]</sup>。卸料期间是指当LNG船到达码头后进行作业的过程。在此过程中产生的BOG气体除了正常状态下产生的气体外,还包括LNG吸收卸料管道热量产生的BOG。

## 2 LNG接收站BOG再冷凝工艺

LNG接收站BOG处理工艺通常有2种,直接压缩工艺和再冷凝工艺。直接压缩工艺流程较为简单,BOG气体经过天然气压缩机增压后送至管网,常用于调峰型接收站<sup>[4]</sup>;再冷凝工艺是用储罐内液下泵输出的过冷LNG将经加压后的BOG液化,再经高压泵增压至管网压力后气化外输。国内接收站普遍使用再冷凝节能处理工艺<sup>[5]</sup>。BOG再冷凝器是再冷凝系统的主要核心设备,在冷凝BOG同时,起到LNG高压泵缓冲罐作用。图1为LNG接收站再冷凝工艺流程图。

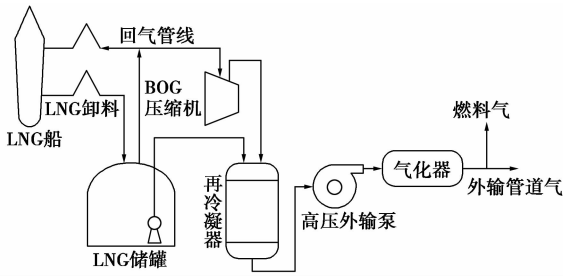


图 1 LNG 接收站再冷凝工艺流程图

### 3 LNG 接收站 BOG 再冷凝系统流程模拟

以具有代表性的接收站为对象,利用 Aspen Hysys 软件,对接收站再冷凝工艺进行模拟及分析研究。该接收站现有 3 座  $16 \times 10^4 \text{ m}^3$  全容式混凝土储罐,日蒸发量为 0.05% 左右<sup>[6]</sup>。

#### 3.1 基础数据

表 1 接收站 LNG 和 BOG 基本组分

项目	基本组分(摩尔分数)/%					
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
BOG	0.894502	0.000077	0	0	0	0.105421
LNG	0.9230	0.0396	0.0246	0.0048	0.0030	0.0050

表 2 BOG 压缩机和 LNG 低压泵操作参数

BOG 压缩机			LNG 低压泵		
进口压 力/kPa	出口压 力/kPa	进口温 度/℃	进口压 力/kPa	出口压 力/kPa	进口温 度/℃
120	800	-160	150	1000	-160

表 3 再冷凝系统模拟结果

节点	干度	温度/ ℃	压力/ kPa	流量/ (kg·h <sup>-1</sup> )	基本组分(摩尔分数)/%					
					C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
BOG	1	-160.0	120.0	24000.0	0.894502	0.000077	0.000000	0.000000	0.000000	0.105421
LNG	0	-160.0	150.0	134925.4	0.923000	0.039600	0.024600	0.004800	0.003000	0.005000
1	0	-65.5	800.0	24000.0	0.894502	0.000077	0.000000	0.000000	0.000000	0.105421
2	0	-159.5	1000.0	134925.4	0.923000	0.039600	0.024600	0.004800	0.003000	0.005000
3	0	-159.5	1000.0	134925.4	0.923000	0.039600	0.024600	0.004800	0.003000	0.005000
4	0	-159.5	1000.0	0.0	0.923000	0.039600	0.024600	0.004800	0.003000	0.005000
5	0	-131.6	800.0	158925.4	0.918618	0.033523	0.020818	0.004062	0.002539	0.020440
6	1	-131.6	800.0	0.0	0.827336	0.000459	0.000013	0.000000	0.000000	0.172192
7	0	-131.6	800.0	158925.4	0.918618	0.033523	0.020818	0.004062	0.002539	0.020440
8	0	-124.7	9775.0	158925.4	0.918618	0.033523	0.020818	0.004062	0.002539	0.020440
9	1	1.0	9750.0	158925.4	0.918618	0.033523	0.020818	0.004062	0.002539	0.020440

LNG 和 BOG 气质如表 1。外输压力为 9.75 MPa,外输温度为 1℃。BOG 压缩机和 LNG 低压泵操作参数如表 2。

#### 3.2 BOG 再冷凝工艺模型搭建

由于在模拟工况下不存在沿程摩阻、局部摩阻的影响,因此在设计模拟参数时需将沿程摩阻和局部摩阻等影响体现为设备内压降。BOG 再冷凝工艺模型如图 2。

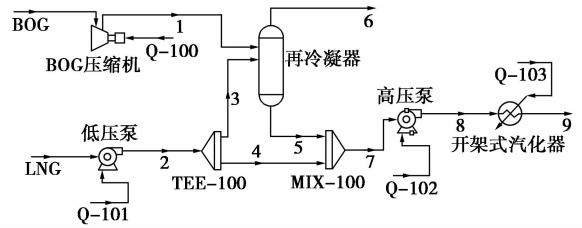


图 2 BOG 再冷凝工艺模型图

LNG 经过低压泵加压后其压力上升,温度基本不变,LNG 变为过冷 LNG,为在再冷凝器中对 BOG 进行冷凝创造了条件。BOG 经储罐 BOG 总管输出后,经 BOG 压缩机加压后,温度、压力上升,由饱和的 BOG 变为过热 BOG,过热 BOG 与过冷 LNG 在再冷凝器内部接触换热,LNG 喷淋进入再冷凝器中与其液位以上充满的 BOG 接触,填料函内 LNG 由过冷 LNG 变为饱和 LNG,BOG 气体冷凝为 LNG。在此过程中,可以通过控制 LNG 的流量,在流程模拟中保证点 2、3、5、7 的干度为 0,节点 4、6 的流量为 0,从而得到 LNG 流量为液化 BOG 所需 LNG 的最小量。模拟所得物料平衡表见表 3。

## 4 LNG接收站BOG再冷凝工艺影响因素分析

### 4.1 BOG流量变化的影响

保持其他各参数不变,仅改变BOG流量(即假设储罐的蒸发率在0.02%~0.09%变化),利用Hysys模拟所需LNG流量变化,模拟结果如图3所示。

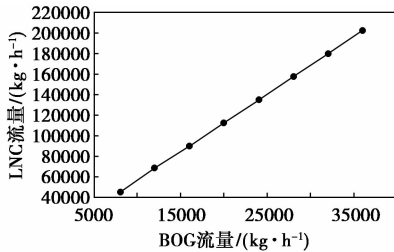


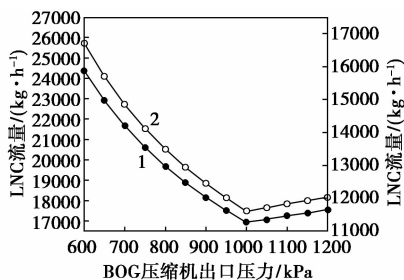
图3 BOG流量变化情况下LNG流量变化曲线

图3表明,冷凝单位质量的BOG所需的LNG流量未发生变化。分析可得,在没有改变BOG压缩机出口压力和温度的情况下,BOG的过热度和热力学性质并没有发生改变。对于同等质量的BOG,在温度下降和发生相变的过程中所释放的能量不变;而对于LNG来说,LNG的热力学性质保持不变,其温度上升至泡点所需能量不变。因此,再冷凝所需LNG量与BOG流量应呈现线性变化。

### 4.2 BOG压缩机出口压力变化的影响

保持其余各参数不变,只改变BOG压缩机出口压力,利用Hysys分别模拟了BOG流量为3500 kg/h和24000 kg/h时所需LNG流量与BOG压缩机出口压力之间的关系,模拟结果如图4所示,图5为LNG泡点-露点图。

图4表明,随着BOG压缩机出口压力不断上升,冷凝同等流量的BOG所需的LNG流量呈先减小后增加趋势,最小LNG流量处的BOG压缩机出口压力和LNG低压泵出口压力相同。分析可得,一



BOG流量:1—3500 kg/h;2—24000 kg/h

图4 BOG压缩机出口压力变化下LNG流量变化线

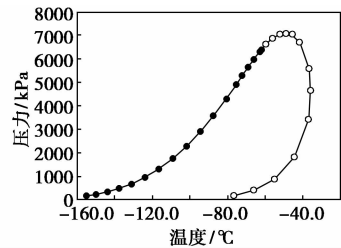


图5 LNG泡点-露点图

方面,随着BOG压缩机出口压力升高,其冷凝温度越高,越易液化,将BOG冷凝所需的LNG量减少<sup>[7]</sup>;同时冷凝压力升高,LNG泡点温度升高。即相当于LNG过冷度升高,由过冷态变为饱和态时吸收热量相比于增压前增大,冷凝相同质量BOG所需LNG量减少。另一方面,BOG温度升高,液化单位质量的BOG所需的冷量逐渐增加,所需LNG量增加。综上所述,在低于LNG低压泵出口压力时,再冷凝所需LNG流量随BOG压缩机出口压力增加而减小,反之则增加。

### 4.3 LNG低压泵出口压力变化的影响

保持其余各参数不变,只改变LNG低压泵出口压力,利用Hysys模拟了再冷凝所需LNG流量与BOG压缩机出口压力之间的关系,模拟结果如图6所示。

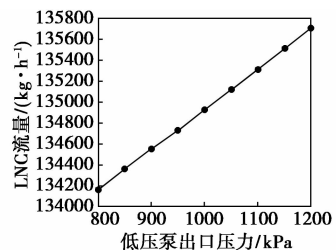


图6 LNG低压泵出口压力变化下LNG流量变化曲线

图6表明,当LNG低压泵出口压力增大时,冷凝同等质量BOG所需LNG量增大。分析得出,当LNG低压输出泵出口压力在800~1200 kPa变动时,LNG出口温度随压力升高也不断升高,此时若保持BOG压缩机出口温度和压力不变,当LNG进入再冷凝器后,LNG温度与泡点温度之差相比于增压前减小,即相当于LNG过冷度降低,由过冷态变为饱和态时吸收热量相比于增压前减少。冷凝相同质量BOG所需LNG量增大。

### 4.4 气质变化的影响

由于在LNG接收站限制运营过程中所接受气质并非一成不变,先选取除模拟气之外另外2种气

质(见表 4)对此过程进行模拟。模拟结果见表 5。

表 4 贫气、富气及相应 BOG 气质组成

组分	(摩尔分数)%			
	贫气	贫气 BOG	富气	富气 BOG
C <sub>1</sub>	0.965100	0.806900	0.894100	0.966299
C <sub>2</sub>	0.019200	0.000400	0.056900	0.000100
C <sub>3</sub>	0.002900	0.000000	0.029000	0.000001
i-C <sub>4</sub>	0.001000	0.000000	0.010000	0.000000
n-C <sub>4</sub>	0.000600	0.000000	0.005000	0.000000
N <sub>2</sub>	0.011200	0.192700	0.005000	0.033600

表 5 贫气和富气的再冷凝系统模拟结果

节点	贫气			富气		
	温度/ ℃	压力/ kPa	流量/ (kg·h <sup>-1</sup> )	温度/ ℃	压力/ kPa	流量/ (kg·h <sup>-1</sup> )
BOG	-159.0	120	24000.0	-159.0	120	24000.0
LNG	-160.0	150	133041.9	-160.0	150	138032.8
1	-62.3	800	24000.0	-64.9	800	24000.0
2	-159.5	1000	133041.9	-159.6	1000	138032.8
3	-159.5	1000	133041.9	-159.6	1000	138032.8
4	-159.5	1000	0.0	-159.6	1000	0.0
5	-134.7	800	157041.9	-129.1	800	162032.8
6	-134.7	800	0.0	-129.1	800	0.0
7	-134.7	800	157041.9	-129.1	800	162032.8
8	-127.7	9775	157041.9	-122.3	9775	162032.8
9	1.0	9750	157041.9	1.0	9750	162032.8

表 5 表明,BOG 再冷凝过程中,甲烷含量越高的 LNG,其 BOG 中甲烷含量相对越少,冷凝单位质

量 BOG 所用的 LNG 用量越少。

## 5 结论

利用 Aspen Hysys 软件对国内某 LNG 接收站 BOG 再冷凝工艺系统进行模拟分析,得出以下结论:

(1)再冷凝工艺系统所需 LNG 量与 BOG 流量呈正线性变化关系。

(2)在一定压力范围内,再冷凝工艺系统所需 LNG 量随 BOG 压缩机出口压力增加而减小;超出一定压力后,再冷凝工艺系统所需 LNG 量随 BOG 压缩机出口压力增加而增加。

(3)再冷凝工艺系统所需 LNG 量随 LNG 低压泵出口压力增加而增加。

(4)甲烷含量越高的 LNG,其 BOG 中甲烷含量越少,冷凝单位质量 BOG 所用的 LNG 用量越少。

## 参考文献

- [1] 李兵,程香军,陈功剑. LNG 接收站 BOG 处理技术优化[J]. 油气加工,2012,30(5):27-30.
- [2] 刘浩,金国强. LNG 接收站 BOG 气体处理工艺[J]. 化工设计,2006,16(1):13-16.
- [3] 李兆慈,王敏,亢永博. LNG 接收站 BOG 的再冷凝工艺[J]. 化工进展,2011,30(s1):521-524.
- [4] 王彦,信鹏,高萃仙. LNG 接收站蒸发气的发生与气量计算[J]. 油气储运,2010,29(5):363-364.
- [5] 张奕,吴斌,艾绍平. 液化天然气接收站的工艺流程[J]. 重庆科技学院学报,2012,14(1):104-105.
- [6] 杨忠明,魏玉迎,李志龙. 江苏 LNG 接收站 BOG 预冷再冷凝工艺可行性[J]. 油气储运,2012,31(5):122-124.
- [7] 杨志国. LNG 储运过程中 BOG 再冷凝工艺的优化[D]. 广东:华南理工大学,2010. ■

## 拜耳新的纺织涂层生产线在拜耳上海正式落成启用

拜耳材料科技 2014 年 4 月 11 日宣布其最新的纺织涂层生产线在拜耳上海聚合物研发中心正式落成启用。同时,其在德国勒沃库森的纺织涂层实验室也启用了全新的设施。包括美国匹兹堡实验室在内,拜耳材料科技投资研发,进一步提升其在纺织涂料领域从产品化学合成创新,到开发新一代生态纺织涂料解决方案的能力。这也将加强拜耳与纺织行业的全面合作,提供基于水性聚氨酯技术的创新型纺织材料。

全新启用的纺织涂层生产线处于国内领先地位。该生产线装备了 1 个多功能涂布装置、2 个层压装置、12 米长烘箱、冷却装置以及拼接和缝制单元。它能实现高度自动化的工艺流程,并使得直接涂布、转移涂布、湿/干式层压、压花加工等多种应用方法在一条生产线上得以实现。该生产线的设置可适用于大规模工业生产,它意味着在拜耳实验室生产线开发的新型纺织材料将更易于推广到工业生产中,减少制造商停工时间。(杨瑛)