

基于Aspen Hysys的LNG调峰站蒸发气量模拟

马 翔

中国石油工程建设有限公司华北分公司 气工艺设计室

摘要: 在LNG调峰站设计建造的过程中,蒸发气(BOG, boil-off-gas)的产生量不仅决定着整个LNG调峰站关键设备的选型,而且对于后续调峰站的安全平稳运行至关重要。这里以某实际项目为例,在传统工艺计算的基础上引入流程模拟软件Aspen-Hysys。本文选择P-R方程作为模拟状态方程,通过对比3种传统的LNG调峰站工况所产生的BOG的量,分析得出了模拟计算和理论计算差异的重要原因。计算结果表明, hysys模拟可以根据不同工况更好的模拟出BOG的产生量,而理论计算结果仅能作为设计初期设备选型时的参考。

关键词: 蒸发气; LNG调峰站; 模拟

在“碳达峰”大背景下,我国作为负责任大国,对于降低温室气体的排放量,提高清洁能源的利用率,提出了更为严格的要求。2020年,中国天然气消费量达到3238亿 m^3 ,同比增长5.5%;而据中国石油统计,集团公司国内油气产量当量首次突破2亿吨,其中天然气产量当量达1亿吨,首次超过原油产量。可以预见,天然气等清洁能源在未来的国计民生中将扮演更为重要的角色。液化天然气(LNG)因其便于运输、储存、利用等特点,成为天然气全产业链中的重要模式。而LNG调峰站是LNG产业链的重要组成部分,肩负着提高我国天然气调峰能力,优化天然气调峰现状的重任。由于LNG调峰站的BOG量直接决定调峰站能否稳定运行,因此本文在工艺计算的基础上引入流程模拟,并利用模拟结果知道进一步指导细化设计。

1 LNG调峰站简介

1.1 LNG调峰站的一般流程

LNG调峰站主要由装卸车系统、储罐系统、BOG处理系统、LNG气化系统、外输计量系统及公用工程系统等组成。因此,调峰站主要功能是接收、储存LNG并将LNG气化后利用天然气管道向下游城镇居民及工业用户供气。生产过程全部为物理过程,无任何化学反应及化学变化,因此调峰站的生产方法为:低温接卸、低温储存、低温加压、加热气化、管道输送。LNG调峰站的一般流程如下图所示。

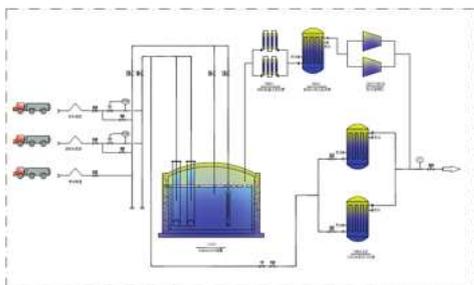


图 1.1-1 LNG调峰站的一般流程

1.2 LNG调峰站的BOG处理系统

LNG储罐的设计压力为-0.5Kpag~25Kpag,随着储罐蒸发气(BOG)产生量的不断增大,储罐自控系统会连锁BOG处理系统启动,降低储罐压力,保护储罐以免超压。LNG调峰站的BOG处理系统为整个调峰站的总要组成部分,一般由BOG加热器和BOG压缩机组成。当BOG压缩机启动,储罐内的低温BOG会首先通过灌顶BOG管道进入BOG器升温,以满足压缩机对气体温度的需求。BOG升温之后进入压缩机,加压之后通过管道一部分进入外输计量系统,一部分作为燃料气供调峰站内生活使用。

2 LNG调峰站基础参数

2.1 基础计算数据

2.1.1 LNG的组成数据

LNG的具体组成见表2.1-1。

表 2.1-1 LNG的组成

组分	单位	贫液	富液
甲烷(CH_4)	mol%	99.86	87.74
乙烷(C_2H_6)	mol%	0.04	7.81
丙烷(C_3H_8)	mol%	--	2.83
异丁烷($i-C_4H_{10}$)	mol%	--	0.53
正丁烷($n-C_4H_{10}$)	mol%	--	0.62
异戊烷($i-C_5H_{12}$)	mol%	--	0.08
正戊烷($n-C_5H_{12}$)	mol%	--	0.03
氮气(N_2)	mol%	0.1	0.36
合计	mol%	100	100
分子量	--	16.06	18.52

2.1.2 LNG储罐参数

该储罐为20000方(水容积)双金属全容罐,其理论气化率按照0.05%进行设计。

2.1.3 装卸车参数

该调峰站设置6座装卸车橇,以满足调峰站补液以

及装车外销的需求。LNG 装卸车橇额定装车流率 60m³/h, 卸车流率 30m³/h。

2.1.4 保冷循环参数

为了保证装卸车管道的温度需求, LNG 调峰站需要利用一定量的 LNG 在装卸车总管内进行保冷循环, 这里限定 LNG 管道的传热速率为 25W/m²。

2.1.5 气化外输参数

为了保证下游用户的生活用气, 该调峰站设置了 LNG 气化器, 其气化能力为 30000Sm³/h。

2.2 调峰站工况分析

LNG 调峰站根据其规模、功能、定位、是否装卸车、是否气化外输可以有多种不同的工况。在进行流程模拟时, 根据项目经验, 选择其中的最为苛刻条件, 作为 BOG 压缩机选型的依据。具体的工况见表 2.2-1。

表 2.2-1 Hysys 模拟具体工况

工况	槽车装车	槽车卸车	气化外输
1	×	×	√
2	×	√	×
3	×	×	×

注: √表示包含, ×表示不包含。

3 蒸发气量模拟计算

3.1 蒸发气量计算结果

LNG 调峰站的 BOG 的量受多重因素影响, 如物料温度、自然环境等都会影响 BOG 的具体产量。这里以国内某 LNG 项目为实例, 利用 Hysys 模拟软件中的储罐、压缩机、换热器、管段等模块, 建立不同工况的模拟流程^[1-4]。模型如下图所示。

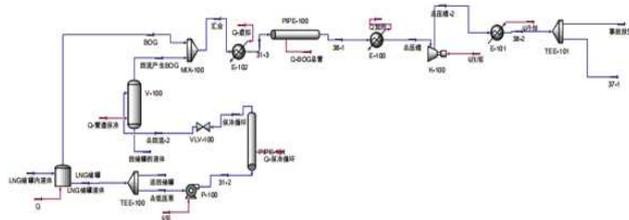


图 3.1-1 Hysys 流程模拟示意图

对三种经典工况进行流程模拟, 同时利用传统工艺计算进行计算^[5-6], 忽略大气变化而导致的 BOG 产量的变化, 得到计算结果如下表所示。

表 3.1-1 不同工况的 BOG 产量

计算方法	物料类型	工况 1	工况 2	工况 3
工艺计算	贫液 (t/h)	0.67	3.50	0.97
	富液 (t/h)	0.68	3.60	0.99
流程模拟	贫液 (t/h)	0.64	3.50	0.91
	富液 (t/h)	0.62	3.46	0.86

3.2 影响因素分析

对比三种工况所对应的 BOG 产量, 发现 (1) 当物料为 LNG 贫液时, 模拟数值和理论计算值差距 < 0.1t/h, 差值较小; 而当物料为 LNG 富液时, 差值较大, 存在 > 0.1t/h 的工况。(2) 当存在卸车工况时, 产生的 BOG 量远大于非卸车工况。

当物料为 LNG 贫液时, 其理化性质接近纯甲烷, 在理论计算时的近似处理和实际工况偏差较小; 而物料为 LNG 富液时, 其含有的轻烃使得其物性远远偏离纯甲烷, 因此理论计算的 BOG 产量值和模拟值差距较大。在 LNG 调峰站进行卸液操作时, 不同温度、不同压力的 LNG 接触会产生大量 BOG, 同时因为体积置换的缘故, 同样会产生大量 BOG, 这就导致在卸车工况存在时, BOG 产生量相较于其他工况大得多。

4 结论

综上所述, LNG 调峰站类项目蒸发气的产生量主要和原料物性、运行工况等因素有关。本文以实际项目为例, 模拟计算了不同工况下的蒸发气产生量, 同时和理论计算值进行了对比, 分析了差异的来源。这对本项目设备选型、投资估算以及后期管理都有借鉴意义, 也对其他类型的 LNG 项目有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 鹿晓斌, 郭雷, 曲顺利. 利用 Hysys 模拟计算接收站 BOG 蒸发量[J]. 化工进展, 2015, 34 (S1): 47-50.
- [2] 何俊男, 吴明, 孙东旭, 朱祚良, 唐凯, 胡本源, 田士章. 基于 Aspen Hysys 的 LNG 接收站卸料工艺模拟[J]. 天然气化工 (C1 化学与化工), 2019, 44 (02): 80-85.
- [3] 王红, 白改玲, 李艳辉, 王林. LNG 接收站流程模拟计算[J]. 天然气工业, 2007, 4 (11): 108-109+144-145.
- [4] 付子航. LNG 接收站蒸发气处理系统的动态设计计算模型[J]. 天然气工业, 2011, 31 (06): 85-88+130-131.
- [5] 仇德朋, 鹿晓斌, 曲顺利. 液化天然气接收站蒸发气产生量的计算研究与分析[J]. 化学工业与工程技术, 2014, 35 (03): 14-17.
- [6] 廖勇, 白宇恒, 钟志良, 朱兵, 苏理林, 康智, 田东民. 液化天然气工厂蒸发气量计算及处理工艺研究[J]. 天然气与石油, 2014, 32 (02): 28-31+4.