

某 LNG 气化站工艺设计分析及总结

王 飞 刘浩然（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘 要： 本文根据基础数据和供气规模进行设备选型和工艺设计，同时利用 HYSYS 进行模拟，优化工艺设计参数并结合最优参数进行详细的设计计算。本文主要从工艺设计角度分析管径计算及安全阀计算，并得到 LNG 气化站工艺设计的结果和依据。

关键词： LNG 气化站；工艺设计；选型计算

1 前言

我国 LNG 气化站的设计与建设从 1999 年淄博某气化站起，经过 20 几年的发展，技术已相当成熟。吴创明^[1]和居万美^[6]对 LNG 气化站工艺流程进行了详细介绍并对工艺设备选型给出了清晰的描述；郑焱文等^[15]对气化站内的管道设计做出了阐述；于春美^[17]对气化站的选址和平面做出了探讨；李十^[18]对气化站的布置和设备能力计算进行了分析；郑大宇等^[19]、张殿星^[20]均对 LNG 气化站的设计优化进行了总结；李永进^[21]对 LNG 气化站中关键设备气化器的布置和其管道的配管等进行了专项讨论；郑桂友等^[22]对 LNG 气化站平面布置、卸车及 LNG 储存及气化等方面进行了设计总结。LNG 在我国起步缓慢但发展迅猛，现已成为行业热点。

本文以贵州侗乡 LNG 气化站工艺设计为例，从工作实际出发，运用专业知识和工作经验对 LNG 气化站工艺设计进行分析及研究总结。主要解决 LNG 气化站最优工艺参数确定、站场模拟计算、站场细节问题确定、主要设备选型及管径计算等主要工艺设计问题。

2 工艺设计

本工程所用 LNG 在 -162°C 下密度 462.1kg/m^3 及天然气在 0°C 下密度 0.7381kg/Nm^3 ，根据前期研究^[2]并考虑一定的设计系数，折算本工程供气规模 2020 年末为 $60\text{m}^3\text{LNG}$ ，2030 年末为 $300\text{m}^3\text{LNG}$ 。

2.1 设备选型

主要工艺设备包括卸车橇、储罐增压橇、主气化器、BOG 加热器、EAG 加热器、电水浴复热器、调压计量加臭橇和放散管。

2.1.1 卸车橇

以目前常用的槽车（容积 50m^3 ）为基准进行计算，需要补充工况气量为 $25\text{m}^3/\text{h}$ ，计算出卸车增压器标况流量为 $175\text{Nm}^3/\text{h}$ 。气化器的气化能力通常按 $1.3\sim 1.5$ 倍计取^[1]，则卸车增压器气化能力计算值为 $262.5\text{Nm}^3/\text{h}$ ，取标准卸车增压器规格 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 。本项目选用 2 套卸车橇（1 用 1 备）。

2.1.2 储罐增压橇

LNG 储罐单台有效容积 150m^3 ，规格： $\phi 3.7\text{m} \times h23.1\text{m}$ ，内罐为内压力容器，外罐为外

表 2-1 EAG 量计算基本参数表

变量	含义	取值	变量	含义	取值
$N_{\text{储罐}}$	站内储罐数量	2	τ_i	最高泄放压力下对应饱和温度	-135.6°C
$V_{\text{储罐}}$	储罐有效容积	150	λ	隔热材料导热系数	$0.025\text{W/m}\cdot\text{K}$
$\text{BOR}_{\text{储罐}}$	储罐日蒸发率	0.3%	δ	保温层厚度	0.25m
ρ_{LNG}	LNG 密度	462.1kg/m^3	H_v	泄放压力下气化潜热	551.8kJ/kg
P_w	储罐操作压力	0.60MPa (g)	D_0	储罐内径	3.2m
P_m	最高泄放压力	0.748MPa (a)	H	储罐最高液位	20m
Z	泄放条件下压缩因子	0.9297	M	EAG 相对分子质量	17.88g/mol
T_a	最高环境温度	313.65K	$\lambda_{\text{空气}}$	干空气在常压 $253\text{K}\sim 922\text{K}$ 下平均导热系数	$0.043\text{W/m}\cdot\text{K}$

压容器。日蒸发率 $\leq 2\text{‰}/\text{d}$ 。同时考虑到远期工况, 远期最大补充工况气量为 $26.7\text{m}^3/\text{h}$, 通过气体状态方程, 求得储罐增压器气化能力 $186.9\text{Nm}^3/\text{h}$, 取标准储罐增压器规格为 $200\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

2.1.3 主气化器

根据供气规模, 近期应设计建设 2 台 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 主气化器, 相互交换切霜工作; 同时为远期预留 6 台位置。

2.1.4 BOG 加热器

根据 LNG 储罐选型, 储罐充填率为 95%, 日蒸发率 $\leq 2\text{‰}/\text{d}$ (wt), 计算出 BOG 量为 $14.25\text{Nm}^3/\text{h}$ 。根据卸车作业完成后槽车内气体回收, 槽车容积 50m^3 , 车内压力由卸车时 0.6MPa 回收到 0.25MPa , 回收时间 30min , 计算出 BOG 量为 $250\text{Nm}^3/\text{h}$ 。故选用气化量为 $400\text{Nm}^3/\text{h}$, 1 台。

2.1.5 EAG 加热器

通过 HYSYS 软件模拟, 本工程 EAG 放散量计算基本参数表见 (2-1)。

根据文献^{[7]~[12]}不同计算方法, 可得翻滚工况下放散量 $1732.9\text{kg}/\text{h}$ (气量 $1196.7\text{Nm}^3/\text{h}$) 最大, 以此做为 EAG 安全放散量及 EAG 加热器的选型计算依据。同时根据 EAG 加热器选型宜按照最大泄放量的 1.5 倍确定^[3], 故本工程 EAG 加热器气化能力取 $2000\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

2.1.6 电水浴复热器

本工程选择 $4000+500\text{Nm}^3/\text{h}$ 的电水浴复热器 1 台, 能够同时加热 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 天然气及 $500\text{Nm}^3/\text{h}$ 的 BOG。电水浴复热器出口控制温度 20°C 。

2.1.7 调压计量加臭撬

根据供气规模, 站内设计建设 1 套供气规模为 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$ 天然气和 $500\text{Nm}^3/\text{h}$ BOG 的调压计量加臭撬, 该撬块中设置天然气调压路 2 路 (1 用 1 备), 单路设计流量 $4000\text{Nm}^3/\text{h}$; BOG 调压路共 1 路, 设计流量 $500\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

2.1.8 放散管

根据文献^[4]规定可知, 本工程放散管的泄放量为 $6000\text{Nm}^3/\text{h}$, 同时依据文献^[13]火炬筒出口直径计算公式可求得放空立管直径为 0.15m (马赫数取 0.2), 又因放散管为间歇排放, 选取放散管高度为 12m 。本工程放散管规格选为 $\text{DN}150$ 、 $H=12\text{m}$ 。

2.2 最优工艺参数

2.2.1 工艺流程

工艺流程设计主要分为 LNG 卸车、储存增压、

LNG 气化 (复热)、调压计量加臭 4 个过程的设计。

槽车拉运 LNG 至站内经卸车增压器卸车后进入 LNG 储罐储存, LNG 储罐出液经主汽化器汽化后经调压计量加臭撬外输供气。

2.2.2 HYSYS 模拟

根据相关数据和主工艺流程, 利用 HYSYS 进行模拟:

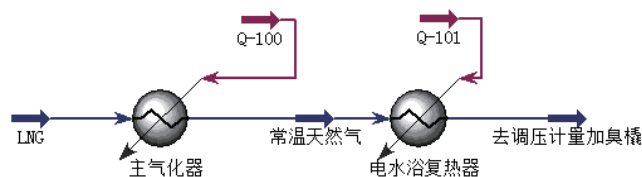


图 2-1 LNG 气化站主工艺模拟

除 LNG 气化主工艺流程外, 同理可模拟 EAG 和 BOG 的加热流程。

2.2.3 关键工艺参数确定

①根据文献^[5]所给出的计算方法, 求得本工程 LNG 进储罐压力损失约 30kPa , 且考虑到外输压力为 0.4MPa , 则 LNG 槽车操作压力维持 0.6MPa 合理, 同时为便于特殊工况下能够将储罐内 LNG 正常气化, 确定 LNG 储罐操作压力在 $0.6\sim 0.8\text{MPa}$ 比较合适。

② LNG 储罐出口管线设计压力除考虑储罐最高操作压力下的设计压力外, 还应考虑 LNG 储罐操满液位时的净液柱的作用, 因此 LNG 出口管线设计压力取 1.2MPa 。

③因本工程环境最低温度为 -4.4°C , 一般空温式气化器出口温度不低于环境温度 10°C , 则宜控制主气化器出口最低温度为 -19°C , 当远传温度低于 -19°C 时说明需切换设备操作或设备已失效。

④根据图 (2-1) 数据以及实际调研中 LNG 气化站因管道保冷等冷量的微量散失造成实际运行中 LNG 温度基本在 $-140\sim -150^\circ\text{C}$ 之间, 故适当提高储罐的设计压力利于 LNG 气化站生产运行。

⑤本工程 BOG 摩尔分率为 0.99 时对应温度 -110°C , 即储罐增压器出口、BOG 和 EAG 加热器出口控制最低温度。

2.3 工艺计算

2.3.1 管径计算

本工程关键管道^[15]主要分为 LNG 输送管线和天然气输送管线:

① LNG 输送管线: 根据文献^[8]管径计算公式, 液化天然气经济流速为 $0.8\sim 1.5\text{m}/\text{s}$, LNG 卸车、气化

器入口总管管线规格选为 DN80。

②天然气输送管线：天然气经济流速为 10~15m/s，天然气管线如主气化器出口和 EAG 加热器进出口均为 DN150、BOG 加热器进出口均为 DN50、天然气外输管线规格为 DN300。

2.3.2 安全阀计算

本工程包括液体泄放和气体泄放用安全阀。

①液体安全阀：由文献^[8]火灾工况下泄流量最大为 0.11m³/h 进而可求得喷嘴面积为 0.0705cm²，喷嘴直径 3.00mm。故本工程液体安全阀选取一套 DN25×DN32 的弹簧封闭全启式安全阀，喷嘴直径 25mm，安全阀定压 0.78MPa(g)，压力等级为 PN16。

②气体安全阀：根据本工程相关工艺参数及文献^[8]给出的安全阀计算公式，可求得本工程气体安全阀选型均为弹簧封闭全启式安全阀，规格 DN50×65，安全阀定压 0.78MPa。

3 结论

通过研究分析，主要结论如下：①对建设在我国南方的 LNG 气化站宜用“空温式气化器+电水浴复热器”的气化方式，冬季气温低时开启电水浴复热器升温。此种方式充分利用环境条件，投资低且运行能耗小。②LNG 气化站 EAG 放散量计算需根据不同方法进行计算比较后确定，对火灾工况和翻滚工况均应经过计算确定。③本文通过 HYSYS 模拟计算的方法，确定本项目最优工艺参数，比如主气化器出口温度不低于 19℃等。④通过对液体膨胀量的计算，低温液体受热膨胀量要比火灾工况小一个量级，且液体膨胀安全阀选型很小，可直接选用 DN25×32 的弹簧密闭全启式安全阀。

参考文献：

- [1] 吴创明.LNG 气化站工艺设计与运行管理[J]. 煤气与热力,2006,26(4):1-7.
- [2] 李雪峰. 贵州侗乡大健康产业示范区燃气专项规划[Z]. 成都: 不详,2016.
- [3] GB 50028-2006, 城镇燃气设计规范[S]. 北京, 建设部,2006.
- [4] GB 51098-2015, 城镇燃气规划规范[S]. 北京, 建设部,2006.
- [5] 王飞.LNG 气化站卸车流量与压力损失关系计算分析[DB]. 万方网,2018.
- [6] 居万美.LNG 气化站的工艺设计分析[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013(22):42.
- [7] GB/T 20368-2012, 液化天然气(LNG) 生产、储存和装运[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2012.
- [8] 孙德姜, 王怀义, 丘平. 石油化工装置 工艺管道安装设计手册 第一册 设计与计算(第四版)[Z]. 北京: 中国石化出版社,2009.
- [9] GB150.1 ~ 150.4-2011, 压力容器[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2011.
- [10] TSG D0001-2009, 压力管道安全技术监察规程-工业管道[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2009.
- [11] GB/T 18442.1 ~ 18442.6-2011, 固定真空绝热深冷压力容器[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2011.
- [12] GB/T 22724-2008, 液化天然气设备与安装 陆上装置设计[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2008.
- [13] GB 50183-2004, 石油天然气工程设计防火规范[S]. 北京, 国家质量监督检验检疫总局,2004.
- [14] 高黎敏.LNG 加气站安全泄放量的计算及放散管设置[J]. 煤气与热力,2016,36(2):B08-B14.
- [15] 郑焱文, 张之辉, 黄建峰.LNG 气化站工艺和关键技术[J]. 广东化工,2018,45(10):184-185.
- [16] 油田油气集输设计技术手册编写组. 油田油气集输设计技术手册, 上册[M]. 北京: 石油工业出版社,1994.
- [17] 于春美.LNG 气化站的选址与设计[J]. 煤气与热力,2013,33(8):B19-B21.
- [18] 李十. 液化天然气气化站的工程设计[J]. 冶金能源,2013,32(4):47-49.
- [19] 郑大宇, 樊海月, 赵玥.LNG 气化站工艺系统和主设备选型优化方案[J]. 科技论坛:24-25.
- [20] 张殿星. 液化天然气(LNG) 气化站设计优化[J]. 科技资讯,2010,06(a):23-24.
- [21] 李永进.LNG 气化器平面布置及其管道设计[J]. 炼油技术与工程,2014,44(3): 36-39.
- [22] 郑桂友, 于京春, 刘尚书等.LNG 气化站的设计[J]. 煤气与热力,2009,29(7):B01-B03.
- [23] 穆晓红, 宋秀文.LNG 气化站工艺设计及运行管理[J]. 工程技术(全文版),2016(7):00042-00042.
- [24] 赵鹏.LNG 气化站的运行管理与安全管理[J]. 煤气与热力,2012(2):33-35.
- [25] 韩东霞.LNG 气化站安全生产风险管理措施[J]. 化工设计通讯,2018, 044(005):175.