

浅析 LNG 装置的布置与管道设计

李菁乔（中国石化工程建设有限公司，北京 100101）

摘要：液化天然气（Liquefied Natural Gas，简称 LNG），主要成分是甲烷，被公认是地球上最干净的化石能源。无色、无味、无毒且无腐蚀性，是一种清洁、高效、安全的能源，已经成为油气工业热门的研发方向。重庆中石化通汇能源有限公司涪陵液化天然气（LNG）的 100 万方/d 液化天然气装置，是中石化首次在国内建设日处理百万方规模的天然气液化工厂，并且采用了中石化自主开发的低能耗液化技术，装置布局紧凑，低温管线较多。

关键词：设备布置；低温管线；低温管架

1 概况

重庆中石化通汇能源有限公司涪陵液化天然气（LNG）的 100 万方/d 液化天然气装置，设计能力为日处理天然气 100 万方，操作范围为设计生产能力的 60%~110%，年稳定连续操作 8000h。按照功能区分可以划分为净化单元，液化单元，BOG 压缩，制冷剂存储和 LNG 储存单元等区块（见下页附图）。其中液化单元采用我公司开发的低能耗液化技术工艺，对净化后的原料气进行液化，产出 LNG 产品。原料依托于涪陵及周边地区发现的页岩气资源，供气管线引自江汉油田天然气分配站，该分配站距离 LNG 工厂红线约 650m。

2 工艺流程

此套 LNG 天然气液化装置，为我公司自主研发的装置。天然气液化工艺流程包括原料气净化、液化、产品储存与灌装、公用工程与辅助系统等。流程示意图详见图 1 所示。

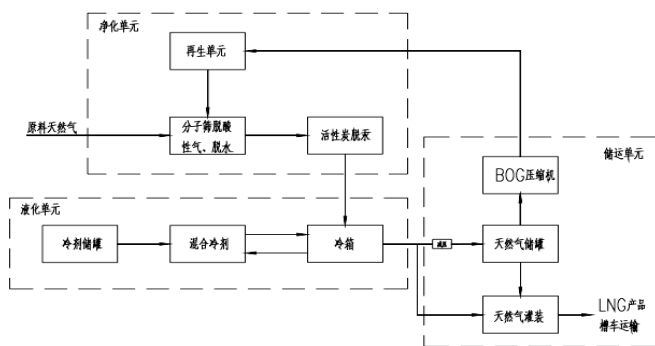


图 1 液化天然气装置流程示意图

原料气以 3.9MPaG 进入装置，首先经过原料气过滤器将其中夹带的其他杂质进行脱除，接着进入原料气压缩机吸入罐脱除污水后进入压缩机。原料气进入原料气压缩机压缩到约 5.1MPaG。压缩产生的热量通过原料压缩机后冷却器带走。然后进入原料气压缩机

凝液分离罐，废液通过液位控制与原料气压缩机吸入罐的废液合并排出界外。原料气压缩机凝液分离罐罐顶气体去胺洗。

脱碳单元采用两塔脱碳流程，吸收塔为填料塔，塔径 1.4m，再生塔上部为三块塔板，下部为填料，塔径 1.2m，胺液采用南化院 NCMA 脱碳溶剂。天然气在吸收塔中被贫胺液吸收除去酸性气体，CO₂ 浓度变为 50ppm，贫胺液变为富胺液闪蒸后去再生塔，汽提出 CO₂ 重新变为贫胺液继续使用。为降低再沸器的热负荷，采用进出料换热器回收再生塔塔釜贫胺液的热量。

天然气干燥单元采用两塔干燥流程，干燥剂采用等压再生，设置了再生气进出料换热器，减少加热能耗。净化后的天然气在冷箱系统中预冷、冷凝和过冷变为 -160℃ 的液相出冷箱去 LNG 储罐。来自 LNG 储罐的 BOG 也在冷箱中预冷、冷凝和过冷，闪蒸后气相去燃料系统或火炬，液相进入 LNG 储罐。在冷箱系统中，重冷剂向第一级闪蒸、中冷剂和轻冷剂分别向第一级和第二级闪蒸，向冷箱提供 -20℃、-60℃、-70℃、-150℃ 和 -160℃ 级位的冷量。此外，还设置了重烃罐分离天然气中的重烃，分离重烃的温度设为 -60℃。

3 设备布置

3.1 设备布置

主装置的设备布置基本顺工艺流程自装置西北方向的天然气原料增压、净化，至占地中部的天然气干燥、液化，液化天然气产品由冷箱送出界区至 LNG 储罐保存。装置西侧为循环水场及消防水泵站等，东侧为主装置二期预留地，南侧为 LNG 储存单元的 LNG 储罐。按照最小安全距离计算得出，除与储罐直连的管廊以外，储罐周围 90m 的范围内，不允许有其他设

备。储罐与净化液化单元及装卸站连接管线自围堤北侧与外管廊相连接。重庆 LNG 项目设备布置图总图, 详见附图 2 所示。LNG 主装置设备布置图, 详见附图 3 所示。

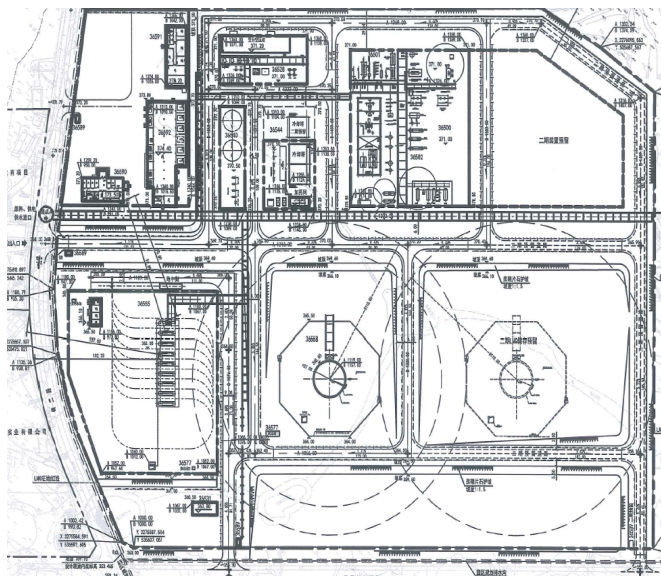


图 2 重庆 LNG 设备布置图总图

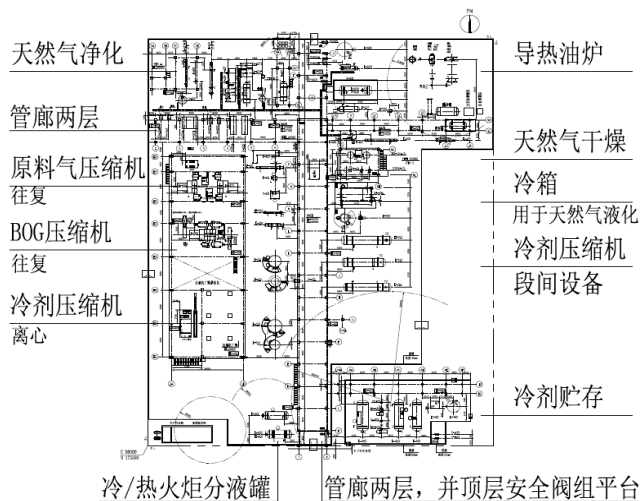


图 3 LNG 主装置设备布置图

3.2 管廊布置

装置管廊成十字形状连接各区块管线, 敷设管线均设置两层, 原则上物料管线在下层, 公用工程及仪电槽板在上层; 为了安置和操作工艺管道的安全泄放阀组, 在南北向管廊顶部增设一层安全阀及其他有需求管线的操作维修层, 有斜梯和直梯通往管廊顶部。进出界区管线及仪电槽板考虑到与对接设备等的距离及方便, 选择分别从装置西部和南部接口进出, 避免管线在全厂管廊兜圈。

3.3 安全距离要求

主装置设备、建筑物平面布置的防火间距均需满足《石油化工企业设计防火规范》(GB50160-2008) 各项要求。装置东北角导热油炉为明火设备, 从炉体算起, 与周围工艺设备满足 15m 间距; 装置东南角冷剂储存系统, 按照装置储罐组定义及布置, 其中液化烃总容积符合 100~500m³ 要求, 与装置内液化烃设备满足 30m 间距; 与可燃气体设备满足 25m 间距, 与压缩机厂房满足 30m 间距; 并设置防火堤, 高度为 0.6m。

3.4 压缩机厂房布置

本装置压缩机厂房及相关设备布置如附图 4 所示。

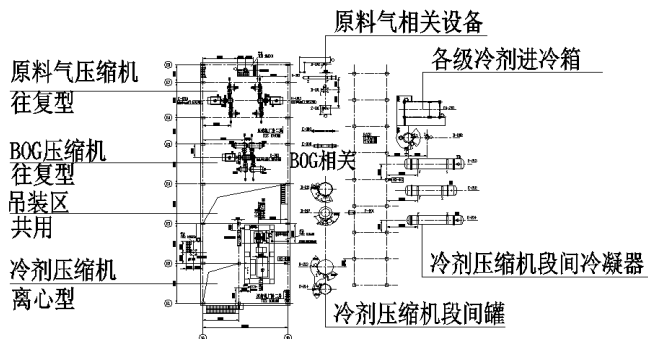


图 4 压缩机厂房及相关设备布置图

厂房长 54m/宽 18m/高 20m, 半封闭设计; 在考虑压缩机基础与厂房基础脱开基础上, 跨距尽量均布。厂房内压缩机共计四台, 其中北侧三台往复型压缩机在 EL104.000m 设置平台, 平台上放置主电机主设备, 平台下放置油站等辅助设备; 南侧一台三级离心压缩机, 在 EL108.000m 设置平台, 平台上放置主电机主设备, 平台下放置油站等辅助设备; 取往复和离心压缩机中间跨为吊装区, 为两边压缩机部件维修共用; 顶部设置桥式吊车, 满足最大零部件吊装维护的要求。

4 管道及管架设置

本装置设备类型中: 塔及冷凝器框架、反应器框架、卧罐、立罐、装置内储罐、地坑设备附带管沟管线管架设计等均可按常规设计原则进行规划设计, 并应符合工艺流程各项原则。

4.1 离心式压缩机的管道布置

离心式压缩机的布置, 见附图 5 所示。

离心式压缩机分为三级, 从左至右分别是压缩机本体, 段间罐, 管廊和段间冷凝器。压缩机管线的管径分布, 是从一级进气 DN750 至三级出气 DN450; 操作压力从一级进 0.27MPa 至三级出升至 4.16MPa; 操作温度 25℃~58℃ 区间。本压缩机为本项目专利核心

所在,对于各级间压力控制非常严格,因此在设备布置及管道设计过程中,既要满足管道柔性和压缩机各级管口许用应力要求,又要严格控制管线的弯头数量避免过度压降流失。我们选取了目前的布置方案,以追求相对最佳的平衡点。管线呈L型布置,同时合理控制弯头数量。对于离心式压缩机管线管架的设置,由于级间管线管径大,操作荷载、充水荷载都是几吨至十几吨/荷载点,管线依附钢结构设置管架时需要考虑钢结构的承受能力。在配管研究阶段,需要考虑将这些荷载点合理地分散布置于主梁主柱之上。

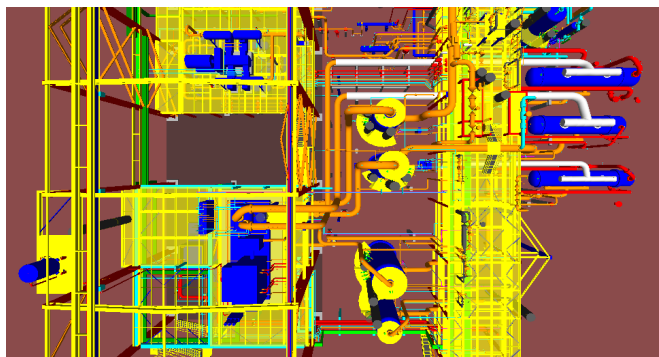


图5 离心式压缩机布置图

4.2 往复式压缩机的管道布置

往复式压缩机的布置,见附图6所示。

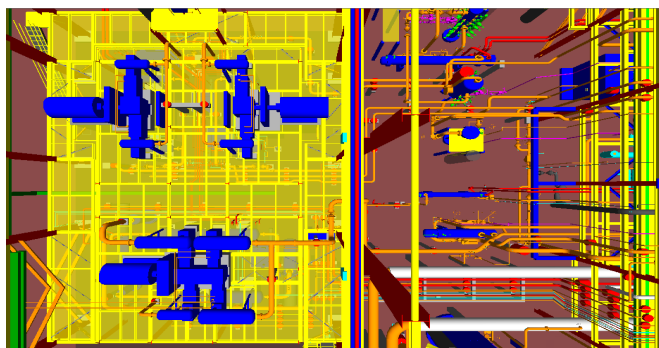


图6 往复式压缩机布置图

在设计往复式压缩机管线和管架的过程中,应尽量避免设置弹簧管架,更多采用减震器和阻尼器。管线尽量成排布置,加大管间距,密集设置管架。为了防止管线与厂房二层平台发生共振,往复式压缩机的管线管架尽量在地面和压缩机基础本体生根,与厂房结构脱开。因此,在管线设计上尽量低于平台布置,方便管架在地面设置。

配管专业完成往复式压缩机管线设计方案后,要尽快向管道应力工程师提供相关管线走向,用以进行热力学、声学、振动分析,来确保运行过程管线平稳,

避免振动。本项目为了切实解决往复式压缩机管线现场容易发生振动的问题,对所有可能振动的管线(包含安全泄放管线)都进行了应力计算。

5 优化设计

压缩机厂房布置可以进一步优化,扩大,并且可以尝试将厂房靠近管廊布置。往复式压缩机的配管、布置可以进一步优化,使管线尽量直、短,从而减少地面支撑。保冷管托长度较长,一些低温管线的弯头与保冷管架距离太近,无法安装弯头处保冷,现场弯头改用聚酯发泡保冷材料进行保冷,以后设计过程中应注意保冷管托的长度,防止出现碰撞问题。

6 结束语

重庆中石化通汇能源有限公司涪陵液化天然气项目100万方/d天然气液化装置,采用了单循环混合制冷工艺,开发了三段压缩、段间补气、三股冷剂供冷流程,与国内外同类技术相比,具有冷量可控、能耗较低等特点,综合性能达到了国际先进水平,是中石化第一家日处理百万方规模的天然气液化装置,也是中国第一家以页岩气为原料的天然气液化装置,已于2017年顺利开车投产,为SEI自主研发的工艺包添上了一笔瑰丽的色彩。

参考文献:

- [1] 龙宇. 化工装置塔的布置及管道设计[J]. 山东化工, 2023,52(03):188-190.
- [2] 史蓉. 化工装置空冷器布置与管道精细设计研究[J]. 当代化工, 2021,50(05):1115-1118.
- [3] 高扬. 石油化工装置空冷器的布置与管道设计[J]. 山东化工, 2020,49(13):127-128.
- [4] 彭文强. 常减压装置中加热炉布置及管道设计分析[J]. 山东化工, 2019,48(15):157-159.
- [5] 许有双. 催化裂化装置高低并列式布置的反应油气管道设计[J]. 化工管理, 2021(19):194-197.
- [6] 文向南. 低能耗LNG装置的设计与经济分析[J]. 油气世界, 2021(8):2.
- [7] 李思莹. 探析LNG装置中的低温管道设计[J]. 中国化工贸易, 2020,7(32).
- [8] 潘远波. 液化天然气(LNG)管道设计与施工问题浅析[J]. 山东化工, 2020,46(14):2.
- [9] 陈保东, 李庆杰, 洪丽娜, 等. 液化天然气管道输送工艺参数的计算[J]. 油气储运, 2020(01):30.
- [10] 徐利梅, 等. 试析LNG气化站的工艺设计和相关问题探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2022(12):1079.