

# LNG 项目中低温管道的布置

徐莹

中国五环工程有限公司 湖北武汉 430223

**摘要:** 本文以国内 200,000 t/a LNG 液化气化装置为研究对象,在现有国家标准、行业规范的基础上,选择两种典型的低温管道(LNG 管线、BOG 管线),针对其在低温环境下的特点,探讨其布置要点和技术难点,并提出相应的优化配置方法。

**关键词:** LNG; BOG; 低温管道; 保冷管托

由于 LNG 管线和 BOG 管线都属于低温管线,并且 BOG 管线中含有少量的液体,因此在管线的布置和管线支撑方面都存在着许多困难,需要特别注意的地方很多,下面就针对这些一一进行探讨。

## 1. 工艺简介

原料气由原料气管网来,经气-液分离后,以 5.01 MPa (G) 的压力进入该项目的净化设备脱碳系统中,CO<sub>2</sub> 经分子筛吸附,脱汞后经脱汞塔脱汞,经干燥纯化的天然气送入液化装置脱除重烃及苯,液化后得到合格的 LNG 成品,由 LNG 储罐贮存,由槽车运输到各用户,被分离的重烃储罐进行储存后外卖。

年运行时间 8000 小时,产出液化天然气(LNG),正常产能为 21.25 万吨。其副产物是 LNG 节流过程中生成的闪蒸气(简称 BOG)及 LNG 储罐热吸收生成的闪蒸气(BOG),再由 BOG 压缩机加压至 0.55 MPa (G),作为脱苯系统的再生气,输送到全厂燃料管网。

## 2. LNG 管道的布置

### 2.1 LNG 管道的工艺简介

从净化液化装置送来的符合要求的 LNG 通过低温保冷管道输送到低温常压 LNG 储罐中,再通过安装在罐内的 LNG 罐内泵将 LNG 输送到装卸设备,通过槽车运输到外面销售。

LNG 管路工作温度 -162℃、设计温度 -196℃、LNG 储罐进口管路工作压力 0.11 MPa、设计压力 1.0 MPa (g)、LNG 罐内泵出口管路工作压力 0.59 MPa (G), LNG 管路为低温不锈钢,阀门为进口低温不锈钢焊接球阀,保冷材料为硬质 PIR 加泡沫玻璃,所有管托均采用保冷管托。

### 2.2 LNG 管道的布置

液化天然气管线是一种在设计温度 -196℃ 的低温管线,在敷设管线时应注意如下问题:

(1) 在保证管道柔性的条件下,尽量缩短管道,尽量减少弯头数目,减少“液袋”,并充分利用管道自身的天然补偿作用,以吸收过热引起的应力。如图 1 所示,由于 LNG 储罐的上部工作平台大小受到限制,LNG 管线需要采用多弯几个折角的方法来吸收应力。

(2) 为使主管上的保冷层在拆除螺栓时不损坏,冷管法兰不应与弯头、三通直接焊在一起,若要安装阀门,则法兰两端应至少有一端留出便于安装和拆卸的直管段,以便安装和拆卸。如图 1 所示,切断阀两端都保留有直管段,而 B 方向的切断阀由于必须留出顶部平台上的检修通道,仅能在阀的左侧留出一个便于拆除的直管段。

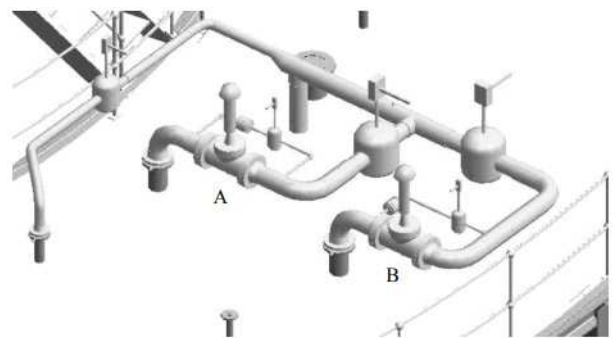


图 1 LNG 储罐罐顶 LNG 入口管道

(3) 低温管线的布置也要防止管线的震动,如果有震动源,也要进行减振处理,靠近管线的地方应该安装弹簧。如图 2 所示,布置在 LNG 储罐内的罐内泵是一种振动装置,在出口管转角位置设置横向耳轴,并在水平耳轴上安装弹性支座,以消除振动对系统的冲击。

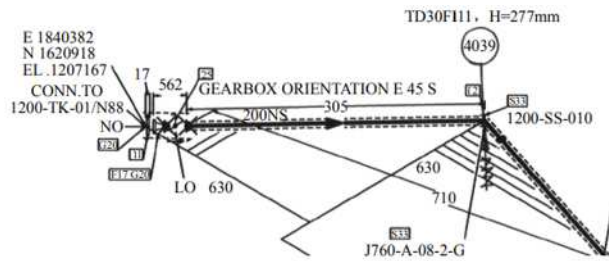


图2 LNG 储罐罐内泵出口管道应力计算图

(4) 低温管线的支撑, 要有预防“冷桥”形成的措施, 不能直接置于结构梁上, 要用保冷管托进行保冷隔热, 在敷设管线时要预留足够的空间, 并且要考虑管线的横向位移, 不能太短, 以免管托从梁上掉下来, 卡在结构梁上。

(5) 由于保冷体的强度比较低, 因此, 在低温管线中, 吊架的跨度要小于常规管线。

### 3. BOG 管道的布置

#### 3.1 BOG 管道的工艺简介

LNG 储罐中的 LNG 由于节流、闪蒸及外界换热而生成大量 BOG, 通常由位于 LNG 储罐顶的回收管送入 BOG 压缩机升压到 0.55 MPa 后再送入整个燃气系统, 而当罐内的气体压力升高到 18 kPa (G) 时, 低温自动调节阀开启, 将 BOG 气排放到火炬进行燃烧。此外, 还将有少量的 BOG 从装卸设备中返回, 并经管道输送到 LNG 储罐, 并由 BOG 压缩机共同输送。

BOG 管线工作温度  $-162^{\circ}\text{C}$ 、设计温度  $-196^{\circ}\text{C}$ 、工作压力 0.02 MPa、设计压力 0.35 MPa (G), 同为低温管线, 其材质、保冷材料与 LNG 管线相同。

#### 3.2 BOG 管道的布置

针对 BOG 管线的低温特点, 除以上所述的低温管线布置方法之外, 还要注意如下:

(1) 由于 BOG 管线中可能夹杂有少量液态 LNG, 因此管线的布置要依据现场的地形和设备部署, 逐步降低或者逐步升高, 防止出现“袋型”。BOG 从低温罐向液化设备排放是逐步降低的, 而 BOG 管道从装卸设备排放到低温罐则是逐步升高的。

(2) 对向火炬主管道排放的 BOG 管线, 其水平直管段也要有不少于 0.3% 的斜度, 并沿介质流动方向 45 度斜接到火炬主管道的上部。

## 4. 管道及附件安装

### 4.1 管道焊接要点

奥氏体不锈钢焊接通常要用氩弧焊, 坡口应该用机器进行, 在焊接之前要把坡口和两边的氧化物和其他杂质都清理干净, 根据焊接技术评价的要求, 对管子进行组对焊, 而且要避免在焊接之前进行预热。为了检验氩弧焊机的输出电流的稳定性和焊接工艺的可靠性, 必须对其进行试焊。焊接电流零点应与焊接管线相连, 不能与其它设备直接连接, 且不能在管线上进行引弧及测试电流。

奥氏体不锈钢具有  $500\sim 800^{\circ}\text{C}$  的焊接敏感性, 此时 C 原子快速迁移至晶界, 晶界上 C 原子大量聚集, 并与 Cr 原子在晶界处生成碳-铬化物, 从而在应力下引起晶界贫铬, 并在应力下发生晶间开裂。为了避免贫铬化, 在焊接过程中要尽可能地缩短在敏感温区内的滞留时间, 一般通过焊后急冷来预防晶间开裂。

在焊接过程中, 应将层间温度控制在  $100^{\circ}\text{C}$  以下, 通过低电流、快焊来降低线能量, 同时要防止电极的左右摇摆, 当底层焊的焊丝直径小于 2.4 mm 时, 至少要焊两层, 并且在第二层进行充氩保护。各焊缝应一次焊完, 为减小应力集中, 多层焊缝之间的焊缝应错开。焊接后, 在焊缝两边作焊工标识时, 不能有明显的痕迹, 并将每位焊工的焊接部位也写在单幅图纸上。

焊缝中  $\delta$  铁素体对焊接热裂纹敏感性有重要影响,  $\delta$  铁素体在改善材料抗腐蚀能力的同时, 显著降低了材料的低温韧性, 当其含量为 3%~12% 时, 焊接材料的热裂敏感性显著下降。《石油化工金属管道工程施工质量验收规范》对含钼奥氏体不锈钢的铁素体量要求为 5% (体积), 提出了工程实践中应以 3%~5% 为宜。显示了铁素体组分对热裂敏感性的关系曲线。

### 4.2 阀门安装要点

由于 LNG 低温管线的阀体内部与低温介质直接接触, 阀杆工作在室温条件下, 因此对其安装有一定的要求, 为了最大限度地减少低温介质对填料层的冲击, 在安装过程中, 必须确保延长段颈部留有气相间隙, 从而形成一种能够抑制传热的气体空腔, 因此低温阀要采用阀杆垂直向上的安装方法。

当低温阀关闭时, 储存在阀腔内的液体会发生加热、气化, 如果不能及时排出高压气体, 就有超压, 从而导致阀门损坏。对此, 需要开一个泄压孔, 通常把泄压孔设置在闸

板的高压一侧,使其流向介质的上游。如果泄压方向设置不当,会影响到阀门的密封性能,必须在滴水盘与阀体上同时标明泄压方向标志“VENT”。

为了防止在标示箭头时与液体流动方向相混淆,低温球阀卸压方向图。

当一段管线上有两个阀,两个阀同时关闭时,液态LNG就会滞留在两阀间的阀体中,由于液态的吸热气化,没有泄压通路会超压,所以需要在两阀间开一个泄压孔,泄压的方向是介质的源头。阀门安装后,保冷通常在现场进行,采用泡沫式保冷材料,保冷所占位置较大,安装阀门时要预留一定的保冷空间。对于低温蝶阀,必须按照设计图上所标明的安装方向进行配置,确保其与管道内介质流动方向相同,否则会削弱其密封作用。

#### 4.3 低温管托安装要点

LNG深冷管线所用管托通常为卡箍式,仅对其与管线的连接部分进行保冷,与结构体相接触的管托底部设置在保冷层之外,其保冷材质与主管道相同,保冷厚度和保冷层数均不变。在保冷管托的最外面,再加一层金属保护层。管子的自由伸缩不应受到管托的限制,而要按照管子的热胀冷缩程度来确定管托的长度。低温管架的强度要考虑风载、试验荷载和启停工况等因素,在多种荷载的共同作用下,管架和保冷材料要有足够的强度来支撑。

LNG低温管线通常采用自然补偿模式,为避免因温度升高引起的管线偏移,在大变形区域如 $\pi$ 形弯处,需适当加长低温管托的底板长度。选用的粘结剂、密封剂、抗磨损

剂等必须保证其在低温条件下的各项性能,并且要有很大的粘附力和密封性。

#### 5. 总结

LNG管线是一种温度较低的管线,因此必须保证管线的柔性,以防止管线的振动。存在机械振动的情况下,需要进行有效的减振处理;法兰和管道接头的一端必须预留足够的直管段,以便拆除;管线不宜用结构钢梁直接支承,应采取保冷管托进行隔离。

本文针对BOG低温管线中存在的气液两相问题,考虑到低温管线布置的特殊性,以及部分BOG需要排入冷火炬主管道的问题,提出了沿介质流动方向45度倾斜接入火炬主管道的思路。

#### 参考文献

- [1] 陈海琴.LNG项目中低温管道的布置[J].化工设计通讯,2019(2):2.DOI:CNKI:SUN:WGTX.0.2019-02-070.
- [2] 王志坚,孙建文.全数字脉冲MIG焊在LNG项目低温管线焊接中的应用[J].金属加工:热加工,2015(6):4.
- [3] 李云山,马业元,张经纬,等.FLNG低温用换热器的管道设计[J].中国石油和化工标准与质量,2020(12):2.
- [4] 文习之,黄明,彭知军.LNG气化站内低温管道补偿问题的探讨[C]//vip.vip,2016:3.
- [5] 李慧文,戈新锐,张建,等.LNG低温管道的设计原则[J].广东化工,2016,43(14):2.
- [6] 秦玉良,池旺.LNG接收站低温管道预保冷技术应用研究[J].山东化工,2023,52(8):181-184.