

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。

一、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, CO₂ 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。

二、LNG 管道的布置

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. 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。

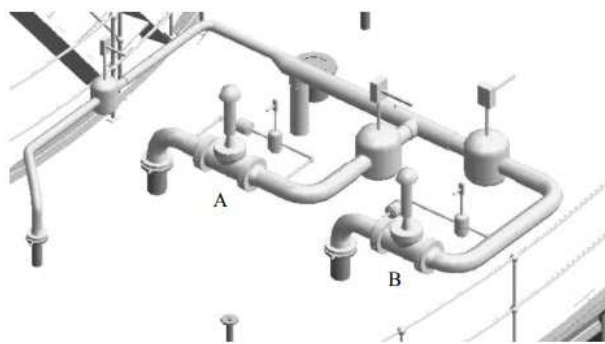


图 1 LNG 储罐罐顶 LNG 入口管道

(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。

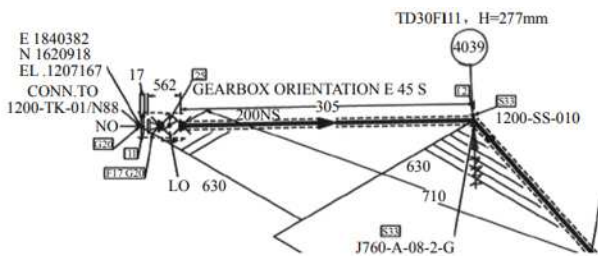


图 2 LNG 储罐罐内泵出口管道应力计算图

(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。

三、BOG 管道的布置

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°C 、设计温度 -196°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。

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。

四、管道及附件安装

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 $500\text{--}800^{\circ}\text{C}$ 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°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 δ 铁素体对焊接热裂纹敏感性有重要影响， δ 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。

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竖直向上的安装方法。

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。

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 π 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。

五、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. DOI:JournalArticle/5b3b82d4c095d70f0079dccc4.
- [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. DOI:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.04.005.
- [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. DOI:10.3969/j.issn.1007-1865.2016.14.092.
- [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.