

液化天然气低温管道安装技术

□ 武汉市燃气热力工程有限公司 (430051) 童清福

摘 要: 本文以武汉市安山LNG储存基地工程项目为例,阐述了LNG低温管道安装时焊接、吹扫试压、保冷、预冷技术要点。

关键词: 低温管道 焊接 吹扫试压 保冷 预冷

液化天然气(LNG)近几年在我国得到了广泛的推广应用, LNG工程建设项目越来越多。LNG液体温度在 -162°C 以下,因而在LNG储存过程中,承担输送工作的是耐低温的工艺管道,这些低温管道在输送LNG流体时,管内介质压力可达4.0MPa以上。由此可见,LNG工艺管道是在超低温、高压的工况下运行的。

2011年,我们承接了武汉市安山LNG储存基地工程项目。由于国内关于LNG建设的相关规范、标准还不全面和完善,不能完全满足LNG特性要求,给LNG项目施工带来了很多技术难题。因此,在施工过程中,我们充分考虑LNG特性,从理论上分析研究,实践中摸索,抓住重要工序的关键点,在技术和安装工艺方面进行改进,使工程的安全、质量得以保证,并为今后的LNG工程积累了一些经验。下面从4个方面来阐述LNG工程低温管道安装技术要点。

1 低温管道焊接技术

在武汉市安山LNG储存基地项目中,LNG工艺管道采用的是0Cr18Ni9奥氏体不锈钢,保证管道焊接后的低温性能是本工程的重要课题。

1.1 防止晶间腐蚀、低温脆化的措施

奥氏体不锈钢材料的固有特性决定了其焊接特点。奥氏体不锈钢在焊接达到 $500^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ 敏化温度

区时,过饱和固溶的碳向晶粒间界的扩散比铬快,在晶界附近和铬形成碳化铬,使晶粒边界处奥氏体贫铬,这种贫铬现象使焊缝金属发生晶间腐蚀,可能会造成焊缝接头强度完全丧失;奥氏体不锈钢在焊接过程中,在焊缝组织中存在铁素体,铁素体的存在使焊缝金属在低温下的韧性恶化。奥氏体不锈钢的这些特性对低温下运行的管道危害性是极大的,因此,不锈钢管道的焊接成为我们研究的重点。

首先,我们改善了焊接材料。通常0Cr18Ni9奥氏体不锈钢焊接材料选用为A107。但为了防止奥氏体不锈钢焊缝的晶间腐蚀和低温脆化现象,我们选用了比A107等级高的A307不锈钢焊条。A307焊条熔敷金属化学成分与A107焊条相比,Cr、Ni含量较高,在焊接过程中,可以对金属焊缝流失的Cr、Ni元素进行不断的补充,使焊缝金属保持稳定的奥氏体组织。合理选用Cr、Ni含量高的焊接材料是保证不锈钢强度和低温下的韧性有效措施之一。

其次,我们改进了焊接工艺。奥氏体不锈钢在敏化温度区,如在 $700^{\circ}\text{C} \sim 750^{\circ}\text{C}$ 时,只需停留十几秒钟,就会贫铬。所以,在焊接过程中,尽量减小焊缝在敏化温度危险区的停留时间,采用浇水急冷的方法强制冷却,加快焊缝的冷却速度,控制晶间裂纹的产生。焊接时,严格控制层间温度,焊完一层水冷至 60°C 以下后,再焊下一层,以加快焊后冷却速度。

加快焊后冷却速度是不锈钢焊接的重要措施之一，这是与通常使用的普通燃气钢管焊接工艺完全不同之处。

1.2 保证长管线、死口焊接质量的措施

从焊缝质量、焊缝成形美观方面来说，奥氏体不锈钢管采用氩电联焊方式焊接是比较好的。但当管径大、管线长时，采用氩电联焊方式，氩气的消耗量很大，保护效果并不理想。在管道装配时，弯头、三通较多，出现了大量死口焊接情况，采用氩电联焊时，管道内的堵塞物无法取出，因此，氩电联焊只适用于管道预制。

为了保证长管道和连接死口时的焊接质量，我们选用了TGF-308L免充氩药皮不锈钢焊丝代替H0Cr21Ni10，对焊缝进行根焊。焊接时，保护药皮会渗透到熔池背面，形成一层致密的保护层，使背面不受氧化。冷却后这层渣壳会自动脱落，在清管时极易清除。使用这种填充材料形成的焊缝成型美观，焊接质量较好。TGF-308L免充氩药皮不锈钢焊丝解决了奥氏体不锈钢大管径、长管线及死口焊接质量问题。

在安山液化天然气存储基地项目中，我们成功地解决了低温不锈钢管道的焊接技术问题。

2 低温管道吹扫、试压

LNG工艺管道上阀门较多，为了使管道上连接部位尽可能参加强度和气密性试压，管道应进行系统试压和吹扫。

《工业金属管道工程施工规范》GB50235中规定，管道系统吹扫是在管道系统试压合格后进行。但我们认为，在管道的安装过程中，管道内积有大量的焊渣及其它杂物，如果只做系统吹扫，不仅不能将杂质吹扫干净，而且，这些杂物堆积在阀门，可将阀门卡堵损坏，隐患极大。所以，我们对吹扫工艺进行了优化。在管道系统上先不安装阀门，仅安装直通管，对管道进行彻底吹扫，打靶合格后，再用等离子切割法断管，将单体试压合格的阀门安装到系统中，待系统试压合格后对管道系统再进行二次吹扫。这样，既保护了阀门，又达到了吹扫效果。我们对管道的吹扫工艺所做优化，看似很简单，但施工中的细节对LNG管道尤为重要，不可忽视。

低温管道试压介质的选择是本工程焦点，也是LNG站试压的难点、重点之一。

如果LNG低温管道采用液体试压，试压时比较安全可靠。但在试压之后，管道内存有大量水分，特别是阀门密封面积聚的水分，施工现场条件根本无法将管道及阀门干燥到露点-20℃以下。当管道在-162℃运行时，管道系统内的水分会冻结成冰，坚硬的冰渣会使阀门卡死、泄漏、损坏，造成运行瘫痪，液压试验对LNG管道运行后患无穷。

如果LNG管道采用氮气试压，氮气对管道有很好的干燥作用。但LNG管道试验压力高达8.0MPa，试压时，当管道系统内压力不断升高，如果某一处承受不了压力破损时，压缩气体将迅速膨胀，产生强大的冲击波，造成严重事故。另外，气体试压，管道振动大，会使管道某些连接部位松动，或将钢结构连接薄弱部位损坏，造成管道破裂而发生气体爆炸。因此，LNG管道采用气体试压，安全风险很大。

在周密全面的分析后，我们选择了氮气试压。我们制定出严格的安全保障专项方案，通过力学计算，合理地选择型钢，对管道、管廊钢结构进行加固，钢管与加固点之间采用软接触，降低管道振动对钢结构的影响；全方位组织技术人员、施工人员，在试压前对管线、阀门及施工资料、各项记录全面检查，确认无误后，在项目总工程师的统一指挥下，作业人员严格遵守操作规程，按专项方案规定的步骤实施。本工程中，我们在管道的清管试压方面有了较大的突破。

3 低温管道保冷

在LNG工程项目中，低温管道的保冷是保证管道系统冷能量高效率的重要手段。

LNG管道常用保冷材料有泡沫玻璃和聚异氰脲酸酯（PIR）两种。

泡沫玻璃因其固有的一系列特性，使其在防火要求极高的深冷绝热场合成为首选的保冷材料。PIR遇火灾，在持续的火焰中能够燃烧，产生浓烟和有毒气体，而泡沫玻璃则完全不会燃烧；但PIR氧指数可达到30以上，最大火焰蔓延率小于25，阻燃性满足LNG场站要求，因而做为保冷材料广泛使用，既经济又方便。

PIR的闭孔率 $\geq 90\%$ ，吸水 $< 1\%$ ，属于憎水性材

料,防水性能较好。为了保证更好的防潮效果,施工时还可在保冷层外涂上两层总厚度不低于6mm阻燃型石油沥青玛蹄脂。

保冷材料和管道材料材料线膨胀系数不同,在LNG工况条件下因温差而产生的变形差,其结果是PIR的保冷绝热结构在接头处(尤其是管托处)容易因收缩被拉开,致使吸入潮气,结霜结冰,影响绝热效果。因此,管道不超过6m的地方,在每层保冷层上应设置宽度不小于50mm的伸缩缝。

保冷块搭接形式的不同对保冷效果有很大的影响。在本工程中,我们先做了试验,在约30m的同一管道上,保冷块采用Z字和一字型两种搭接方式,对管道保冷各15m,然后对该段管道进行预冷,前者管道无结霜现象,后者管道沿缝隙有明显的结霜。因此,我们均采用了Z字型搭接保冷块连接。

4 低温管道预冷

LNG管道保冷工程完成之后,应对管道进行预冷,检测和测试设备及管道在低温状态下的性能是否达到设计要求。

根据LNG特性,不锈钢材料线膨胀系数较大,对于0Cr18Ni9材质管路,在工作温度为 -162°C 时,100m管路收缩达到300mm,因此,在设计时要采取措施防

止出现冷收缩引起破坏。

预冷介质可采用氮。在预冷时,LNG管道不能降温太快,应遵循预冷时管道温度要逐步降低,避免急冷的原则,防止温度骤降对设备和管件造成损伤,推荐冷却的速率为 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$,不得超 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 安全速率。

LNG进入管道时,部分LNG会迅速气化沸腾,管内出现气液两相天然气,管道底部温度低,顶部温度高,导致管道上下收缩不一致,出现凸起现象,即香蕉效应。因此在进液时,注意实时检查测试管道顶部和底部的温度值,控制其温差范围在 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 以内。

预冷可分为气体预冷和液体预冷两部分。首先,利用增压器,使槽车压力升高至0.3MPa,将槽车液相出口管与装卸撬液相管进口管连接,打开槽车液相阀门,通过装卸撬液相管道先向已置换完成的液相管路和设施内注入低温氮气,进行气态预冷;然后测试气体温度,达到预期值 $-50^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$,则气体预冷完成。气体预冷完成后,恢复正常的卸车操作程序管道连接方式,向液相管道注入液态氮,进行液态预冷,测试气体温度,达到预期值 -130°C ,则液体预冷完成。

综上所述,LNG管道比普通的工业管道的安装具有更高、更严的要求,因此,在LNG管道施工中从方案编制和论证、施工过程的组织监控、施工工序的检测等环节都需要更加谨慎、细致,工程技术人员还应有探索、创新的精神,才能保障LNG工程的安全建设。

工程信息

清远市将建22座天然气汽车加气站

2014年4月16日,清远市规划局官网公示了《清远市区天然气汽车加气站专项规划(2013—2020)》,在清城和清新各街道、镇区的主要区域内规划新建或扩建22座加气站,其中有4座计划在2014年内完成建设。届时,清远市区122辆天然气公交车有望结束市区仅有一座加气站的窘况。

此次清远规划的天然气汽车加气站包括CNG(压缩天然气)加气站和LNG(液化天然气)加气站两类。CNG加气站是从城市燃气管网中提取天

然气,经压缩后直接给汽车加气,主要供小型汽车如出租车、私家车使用;LNG加气站是通过槽车运输液化天然气,充装到加气站槽罐,主要供大型汽车如公交车使用。

本次城市规划区范围包括清城区凤城、东城、洲心、横荷四个街道,石角、龙塘、源潭、飞来峡三个镇区,以及清新区太和、太平、三坑、山塘四个镇区,规划工程总投资2.07亿元。

(本刊通讯员供稿)