

LNG 海底低温管道探讨

张超逸 黄 坤 赵孟卿 郝 利

西南石油大学,四川 成都 610500

摘要:

为了应对液化天然气(LNG)接收终端海上化这一趋势,需要在接收终端与陆地管网之间建设 LNG 海底低温管道以满足 LNG 的输送要求。由于 LNG 的储存运输温度极低,导致 LNG 海底低温管道在绝热要求和管道材料方面与其他油气管道相比具有较高的技术要求。为了满足这些要求,就需要选择具有极高绝热性能的真空绝热层或是由高性能绝热材料组成的堆积绝热层,以及低热膨胀性能的镍钢管材。一般而言,采用由气凝胶绝热材料组成的绝热层和以 9%镍钢作为管道材料,可满足 LNG 海底低温管道的技术要求。

关键词:

LNG;海底低温管道;双层管结构;绝热;管道收缩

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)04-0006-03

0 前言

当前国内外液化天然气(LNG)大当量、远距离输送业务主要是通过大型 LNG 运输船来运输。这就需要采用 LNG 装卸平台来解决运输船与陆上天然气管网之间的天然气输转问题^[1]。

目前国内外 LNG 装卸平台大多数是以码头的形式安装在沿海区域。这种类型的 LNG 装卸平台有三个方面的缺点:

- a)LNG 运输船体积较大,灵活性不足,往往会影响本就十分繁忙的沿海航道和泊位作业;
- b)现有 LNG 运输船排水量巨大,要求的泊位水深也较高。沿海地区的海洋往往较浅,难以符合运输船的要求,这就需要在运输船泊位附近进行挖泥作业以增加水深,但这种作业通常需要非常昂贵的费用;
- c)LNG 的输送温度仅为 -163°C ,且体积仅为常温

下气态天然气的 1/600,一旦在装卸过程中出现温度升高,LNG 汽化的情况,将对装卸设备,附近人员和环境造成极高的风险。

由于这些缺点难以避免,国外研究认为应当将 LNG 装卸平台设置到距离海岸一定距离的海上。而海上装卸平台与陆上天然气处理设施之间则采用 LNG 海底低温管道进行连接。

由于 LNG 的性质特殊(要求极低的输送温度),与现有的其他海底管道相比,LNG 海底管道在管材、绝热方面的要求有所不同。本文将对现有 LNG 海底管道技术进行探讨,重点说明这类管道在管材和绝热方面的技术进展^[2]。

1 典型技术工艺

与其他海底管道相同,现有 LNG 海底低温管道

收稿日期:

2010-12-06

基金项目:

四川省重点学科建设基金资助项目(SZD0416)

作者简介:

张超逸(1987-),男,四川泸州人,在读硕士研究生,主要从事天然气储存和运输研究工作。

也采用多层管壁技术,其中以双层管壁和三层管壁两种结构最为普遍。LNG 海底低温管道的双层管壁结构方案^[3]和三层管壁的结构方案^[4]分别见图 1 和图 2。

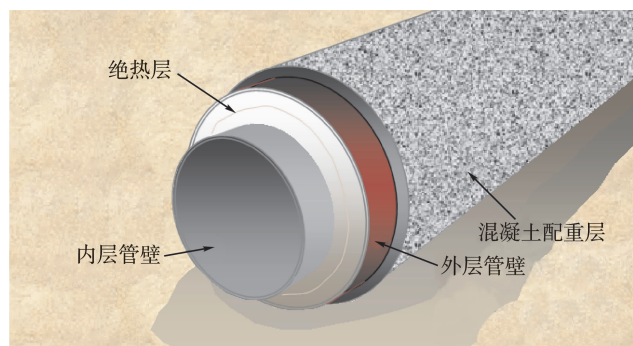


图 1 LNG 海底低温管道的双层管壁结构方案

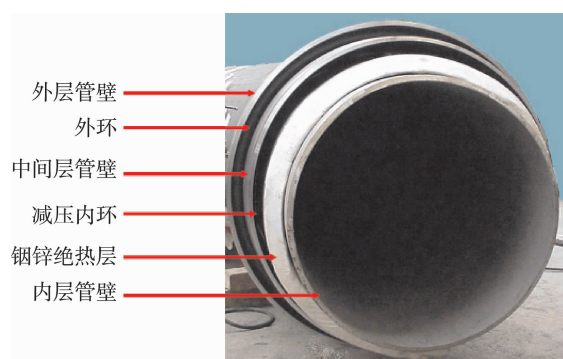


图 2 LNG 海底低温管道的三层管壁结构方案

LNG 海底低温管道中的内层管壁需要直接接触 LNG 液流,为了减少由于极低的温度导致的管道轴向收缩问题,通常内层管壁都是采用具有较低热膨胀系数的镍钢合金材料。

管道的外层管壁和中间层管壁的主要作用是抵抗外部冲击,且都是在常温下运行,因此外层管壁和中间层管壁通常采用碳钢或者不锈钢材料,在特殊情况下也可以采用镍钢材料。

通常内层管壁与外层管壁之间(三层壁结构时则是内层管壁与中间层管壁之间)的环形空间用于安装绝热层,包括堆积绝热层或者真空绝热层。

如果管道采用三层壁结构,则中间层管壁和外层管壁之间的环形空间还可以安装附加的绝热层或者附加的缓冲层。

通常在管道的最外层还需要设置混凝土层,一方面可以用于缓冲和抵抗外部冲击;另一方面也可用于对管道本身进行配重。

除了上述几种基本结构部分外,在 LNG 海底低温管道结构中还需要几种重要的管道附件:

1.1 隔离板

隔离板是 LNG 海底低温管道最重要的管道附件。分为金属隔离板和非金属隔离板,通常安装在各层管壁之间和管道弯曲部分。

隔离板的作用包括:

a)将管壁之间的环形空间密封,优化绝热层的运行环境;

b)将内层管壁上产生的轴向载荷转移到中间层或外层管壁;

c)在管道安装时用于连接管段;

d)防止各层管壁间的相互运动损伤绝热层^[4]。

1.2 光纤传感器

由于 LNG 在管道输送过程中需要严格控制温度,而无论内层还是外层管壁出现泄漏情况都有可能造成管道中 LNG 温度的升高。因此通常需要在内层管壁的外表面安装光纤传感器,以便实时测量 LNG 的温度、压力以及管壁的应力、应变的数据,并根据这些数据检测管道中是否发生泄漏。

2 LNG 管道技术面临的问题及解决措施

由于 LNG 海底低温管道的运行条件与其他海底管道有所不同,使得 LNG 海底低温管道技术具有几个方面的特点。

2.1 极高的绝热要求

通常 LNG 的输送温度仅为 -163°C ,且体积仅为常温下气态天然气体积的 $1/600$ 。而在管道输送过程中管道内外的温差很大,一旦管道中的温度上升,LNG 汽化,导致管道的压力迅速上升,将对管道造成严重的后果。因此管道中 LNG 的温度必须得到严格控制,这就要求管道中安装的绝热层具有极高的绝热性能。

当前 LNG 海底低温管道中采用的绝热层主要有两类:真空绝热层和堆积绝热层。

2.1.1 真空绝热层

真空绝热层具有极高的绝热性能(超过了任何一种采用堆积绝热层的绝热性能),所需要的设备简单。此外,由于真空中压力较低,一旦管道中压力出现一定幅度的变化就可以迅速分析出管道中是否发生泄漏。

但是真空绝热层的可靠性较低,一旦管道中出现泄漏则绝热层的绝热性能会迅速消失,在整个管道寿命过程中形成和保持真空低压状态需要消耗大量的能量和费用,成本过高。因此在 LNG 海底低温管道中通常不选择真空绝热层。

2.1.2 堆积绝热层

现有堆积绝热层采用的绝热材料分为两类:以聚氨酯泡沫塑料为代表的传统绝热材料和以气凝胶为代表的新型高性能绝热材料。

传统绝热材料成本较低,使用成熟度高。但是这些材料绝热性能较低,因此要达到要求的绝热性能就需要较大的绝热材料使用量,相应的绝热层厚度就很大,直接导致了外层管壁直径增大。这不仅增加了管道的材料用量和成本,而且增加了管道的重量,不利于管道的安装。同时聚氨酯泡沫绝热材料遇水会降解,一旦外层管壁破裂导致水分接触绝热层,则绝热材料会降解,使得绝热层的绝热性能迅速下降。从长远来看并非是 LNG 海底低温管道的理想绝热材料。

气凝胶材料是一类具有良好应用前景的绝热材料。这种材料的绝热性能远高于传统绝热材料(但低于真空的绝热性能),因此达到要求的绝热性能所需要的材料用量较少,相应降低了绝热层的厚度和外层管壁的直径,降低了管道成本。这种材料具有憎水的特性,不会因为水分的降解而降低绝热性能。但是这种材料价格较高,没有实际应用的先例。

2.2 内层管壁的材料选择

由于 LNG 的温度极低,因此对于需要直接接触 LNG 的管道内层管壁来说,无论采用哪种管道材料都不可避免地会出现管道的轴向收缩。如果管道的轴向收缩量过大,则会在管道的接头处产生很大的应力,对管道结构造成破坏。

当前应对管道轴向收缩的措施主要有两种:设置膨胀节/波纹管或是采用具有较低热膨胀系数的合金管道材料。

目前在管道中设置膨胀节/波纹管的技术比较成熟,应用范例众多。但是在管道中设置膨胀节/波纹管会增加管道的复杂性和安装难度。而且膨胀节/波纹管的结构较为脆弱,对于难以进行维修的海底管道来说,一旦这些装置出现问题就很容易导致管道结构的破坏。此外膨胀节/波纹管的价格较为昂贵,使管道成本大大增加。

目前开发的具有较低热膨胀系数的合金管道材料主要是 9%镍钢和 36%镍钢。其中 36%镍钢的热膨胀系数极低,实验表明,数千米长的管道如果采用 36%镍钢则整个管道的收缩量不足 50 mm,而且管道两端接头处的应力也处于管材的极限屈服应力以内。

但是 36%镍钢的价格极高,而且供应商也有限,不太适用于 LNG 海底低温管道。

9%镍钢是 LNG 储罐的常用材料,具有应用先例。但是对于 LNG 管道来说 9%镍钢的热膨胀系数还是过高,难以满足管道的应力要求。目前国外研究认为在管道中采用新型隔离板技术可以将内层管壁上产生的载荷转移到外层管壁,使得管道的轴向应力和管端接头应力均处于管材的屈服极限以内,但这种技术仅在实验室中使用,是否适用于实际管道有待进一步研究^[5]。

3 结论

由于运输产品的温度极低,与环境温差很大,LNG 海底低温管道与其他海底管道相比具有一定的特殊性。这个特殊性主要体现在管道绝热层和内层管壁的管材选择上。目前对于 LNG 海底低温管道应该选择哪种绝热层和内层管壁的管材意见各不相同,但是更多的意见倾向于采用气凝胶材料绝热层和 9%镍钢材料内层管壁,但这种配置仍然存在不少缺陷,比如管道的轴向收缩问题就很难解决。

虽然具有良好的应用前景,但是 LNG 海底低温管道在技术上仍然存在一些问题,距离实际投用尚有一定差距。因此 LNG 海底低温管道还需要进一步研究和实验。

参考文献:

- [1] 梁光川,郑云萍,李又绿,等. 液化天然气(LNG)长距离管道输送技术[J]. 天然气与石油,2003,21(2):8-10.
- [2] 陈雪,马国光,谢剑飞. LNG 长输管道输送技术研究[J]. 石油化工设计,2006,23(2):56-58.
- [3] Prescott C N, Zhang J, Brower D V. An Ambient Pressure Insulated LNG Pipeline for Subsea Environments [A]. Richardson. Offshore Technology Conference [C]. Texas, USA:2005. OTC 17338.
- [4] Brown Trent, Jukes Paul, Sun Jason. Mechanical Design of Subsea and Buried LNG Pipelines [A]. Richardson. Offshore Technology Conference [C]. Texas, USA:2009. OTC 20226.
- [5] Phalen Tom, Prescott Neal C, Zhang Jeff, et al. Update on Subsea LNG Pipeline Technology [A]. Richardson. Offshore Technology Conference [C]. Texas, USA:2007. OTC 18542.