

# LNG 深冷绝热技术应用研究

陆卫强,陈 岗

(上海船舶工艺研究所,上海 200032)

**提 要** LNG 深冷绝热技术是 LNG 项目工程中的关键技术之一。通过 LNG 深冷绝热技术特点的分析,设计出 LNG 深冷绝热层典型结构,对 LNG 深冷绝热材料进行了选材研究。这项国产化技术在中原油田 LNG 地面处理厂工程中获得成功应用。

**主题词** 液化天然气 低温设备 隔热结构设计

## 1 引言

天然气是从气田中开采出来的自然可燃气,其主要成分为甲烷。LNG(液化天然气)则是气态天然气在常压下通过冷却至 $-162^{\circ}\text{C}$ 所凝结成的液体。天然气液化后,其体积为液化前的 $1/625$ ,可以大大节约储运空间和成本,而且具有热值大、性能高等特点。

作为一种优质、高效、清洁的环保型能源,天然气产业已经成为当今世界各国关注的经济热点。

上世纪 90 年代,我国开始研究使用 LNG 问题,1995 年着手编制天然气发展规划并组织有关单位开展 LNG 项目前期研究工作,1998 年 10 月,国务院批准广东先行试点,引进 LNG,拉开了我国进口液化天然气的序幕,这是推动能源结构的一项战略决策。目前广东 LNG 工程正式投产,标志着我国 LNG 的产业链已经初步形成。

LNG 产业链是一个十分复杂及耗资巨大的系统,它包括气田建设、天然气管网建设、天然气液化、水陆运输、LNG 接收终端建设与发电等环节。

天然气的主要成分为甲烷,属易燃易爆气体,它的液化温度为 $-162^{\circ}\text{C}$ 。对 $-162^{\circ}\text{C}$ 液化天然气进行大规模工程化绝热,是 LNG 整个项目中关键技术之一。本文主要介绍 LNG 接收终端领域中,深冷绝热技术在 LNG 地面处理厂天然气净化液化工程中的应用研究。这项技术 2001 年成功应用于我

国第一个 LNG 国产技术项目——中原油田 LNG 地面处理厂的保冷绝热工程。

## 2 中原油田 LNG 地面处理厂项目简介

中原油田 LNG 地面处理厂为中国石化集团公司重点建设项目,是我国第一套商业液化天然气装置,并被国家经贸委列为重点技术创新项目。设计年处理原料天然气 $9\,900\text{万 m}^3$ ,年产 LNG $36\,430\text{t}$ 。该处理厂由法国索菲燃气公司提供基础设计,其他由国内各单位进行设计和施工。工程采用了大量国产设备和材料,于 2000 年 7 月开工,2001 年 9 月投产试生产成功。该项目至今生产运转良好。

## 3 LNG 深冷绝热结构研究

### 3.1 深冷绝热典型结构设计思路

深冷绝热的最终目的是减少周围环境的热量传入 LNG 低温设备和管道内部,控制 LNG 冷量损失,确保绝热层外表面温度高于环境的露点温度,保证外表面不凝露。同时,节约能源,保证 LNG 工作正常运作。

热量传递包括热传导、热对流和热辐射三种方式,对于 LNG 的绝热结构来说,主要存在的是热传导和热对流,因此如何解决传热问题,是绝热结构设计的关键问题。由于 LNG 设备在运行过程中温度交变范围非常大,超低温和常温交变容易造成 LNG 设备绝热结构的破坏,因此要对绝热材料和铺层方式进行设计。

根据法国索菲公司提供的的设计以及工业设备及管道绝热工程设计规范,深冷绝热结构由绝热层、防潮层、保护层等组成。我们在此基础上,提出了过渡层、保冷层、防潮层和外保护层的典型结构设计。同时,深冷绝热层结构设计采用了多层结构形式,因为单层绝热层结构的局部缺陷容易造成冷量损失而影响整体保冷效果。在每一层结构中采用了拼接形式,目的是防止在低温条件下因局部结构破坏而造成整体结构的破坏。为了减小拼缝空隙产生热对流

现象,拼接采用哈夫拼接方法。同一层的拼缝应错缝,相邻结构层应压缝。由于 LNG 管道和绝热材料之间的线膨胀和收缩率是不同的,在绝热结构设计时,局部采用伸缩接头结构以解决不同材料的收缩问题。

### 3.2 LNG 深冷绝热层典型结构

中原油田 LNG 地面处理厂绝热设备,主要包括 LNG 储罐、管线、法兰、泵体等不同类型。各种设备的绝热层结构设计是不同的。

绝热基本结构形式见图 1;管道绝热结构形式见图 2;弯管绝热结构形式见图 3;储罐绝热结构形式见图 4;法兰绝热结构形式见图 5;水平绝热伸缩接头结构形式见图 6;垂直绝热伸缩接头结构形式见图 7。

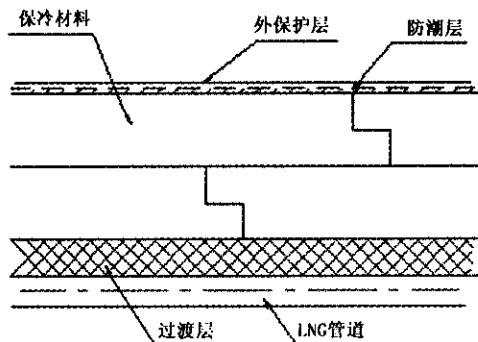


图 1 绝热基本结构纵向剖面图

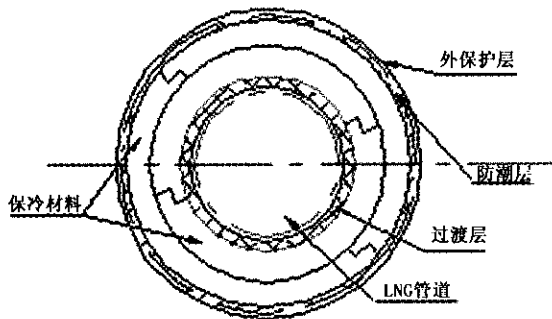


图 2 管道绝热结构横向剖面图

## 4 LNG 深冷绝热材料

### 4.1 LNG 深冷绝热材料要求

一般绝热材料分为有机材料和无机材料两大类。有机材料主要有聚苯乙烯泡沫、聚氨酯泡沫、酚醛泡沫、聚氯乙烯泡沫、巴尔沙轻木等。无机材料主要有玻璃棉、陶瓷棉、泡沫玻璃、膨胀珍珠岩、硅酸钙等。由于 LNG 温度为  $-162^{\circ}\text{C}$ , 满足 LNG 绝热要求的绝热材料必须是,在超低温和常温交变时尺寸

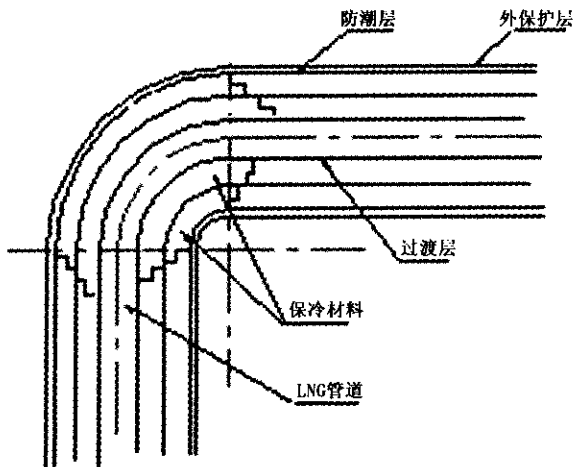


图 3 弯管绝热结构剖面图

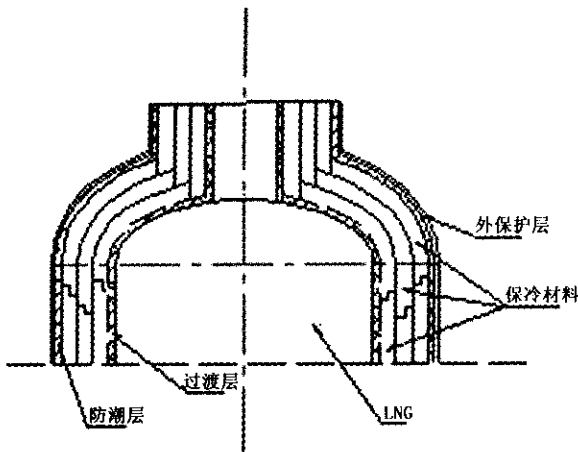


图 4 储罐绝热结构剖面图

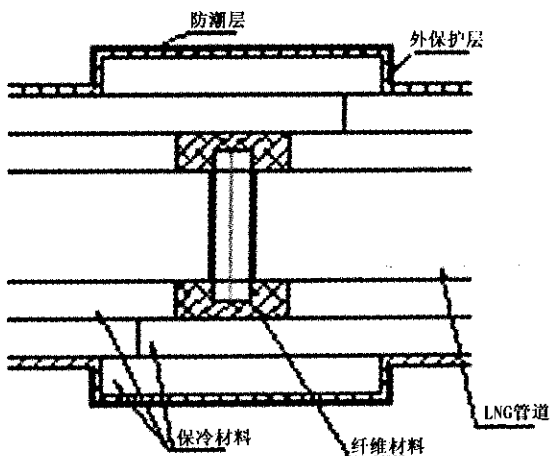


图 5 法兰绝热结构剖面图

稳定性要好、具有较低的导热系数即有较好的绝热性能、在超低温和常温下达到一定的强度要求。同时,在工程选材设计中还应考虑材料的成本、施工性能。表 1 所列为满足 LNG 绝热要求的部分绝热材料的性能指标。

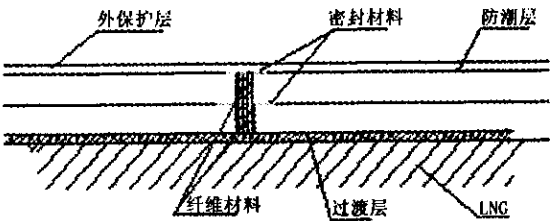


图 6 水平向伸缩接头剖面图

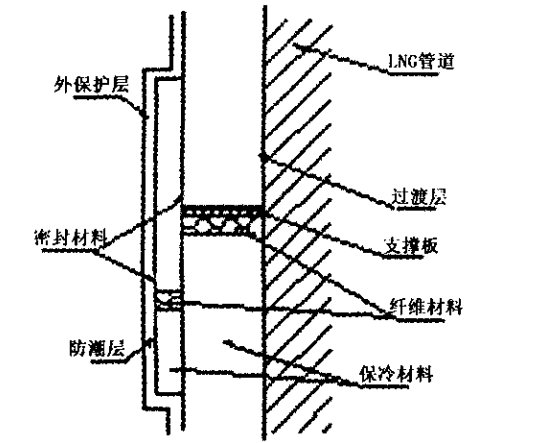


图 7 垂直向伸缩接头纵向剖面图

表 1 部分绝热材料性能

名 称	容重 (kg/m <sup>3</sup> )	导热系数 (W/(m·k))	压缩强度 (kPa)
膨胀珍珠岩	250	0.064	≥390
泡沫玻璃	150	0.062	≥400
聚苯乙烯泡沫	30	0.041	≥100
聚氨酯泡沫	30	0.022	≥140
酚醛泡沫	30	0.022	≥60
聚氯乙烯泡沫	30	0.019	≥250

4.2 中原油田 LNG 工程深冷绝热材料

对于中原油田 LNG 地面处理厂绝热工程来说,要求选用的材料重量轻、性能好、施工方便,同时

对材料的防火性能也有要求。在中原油田 LNG 工程中我们选用了我所研制并通过英国劳氏船级社认可的 HPFP9118 改性聚氨酯泡沫材料,解决了 LNG 深冷低温条件下易收缩、开裂、变形等技术难点。其性能检测结果见表 2。

表 2 中原油田 LNG 地面处理厂绝热材料性能检测结果

检测项目	材料性能
容重(kg/m <sup>3</sup> )	55~65
尺寸稳定性(-196℃)(%)	-0.6
吸水率(%)	1.8
导热系数(W/(m·k))	0.021
压缩强度(kPa)	420
自熄性(s)	离火即熄~1.7
氧指数 OI	27

4.3 辅助材料

辅助材料为过渡层材料、防潮层材料和外保护层材料。过渡层材料主要为无机纤维制品,具有较高的强度和弹性。防潮层材料主要为薄膜制品,防止外界湿汽渗透到绝热层中结冰,造成材料导热系数增大,甚至造成绝热层结构破坏。外保护层材料主要为金属板材,其作用为防止外力而损坏绝热层以及大气环境的影响,同时,外保护层还起美化装饰作用。

5 应用情况

此项 LNG 深冷绝热技术完全是国产技术,在中原油田 LNG 地面处理厂的绝热工程中已获得成功应用。该工程在验收过程中采用 -196℃ 的液氮对整个 LNG 管线进行处理,结果表明完全达到设计要求,保证了中原油田液化天然气工厂投料试车一次成功。目前为止,该工程状况良好,运转正常。

欢迎订阅《造船技术》杂志

《造船技术》杂志(双月刊)是面向国内外造船及其相关行业的工程技术类期刊  
是船舶制造、修理、设计、研究、检验、运行工程技术和管理人员的挚友

《造船技术》杂志助您提高造船技术水平

每册定价 6.5 元,全年 6 册,每份共计 39 元。本刊自办发行,订单备索