

我国液化天然气(LNG)的陆地储存与运输

徐 烈 * 李兆慈 张 洁

(上海交通大学)

徐永生

(张家港市圣达因化工机械有限公司)

徐 烈等.我国液化天然气(LNG)的陆地储存与运输.天然气工业,2002;22(3):89~91

摘 要 液化天然气的陆地储存与运输是天然气工业链中的必不可少的组成部分,对促进天然气工业的发展意义重大。文章介绍了我国当前 LNG 储运市场中天然气液化站、LNG 运输、LNG 供应站等方面的情况,以及我国 LNG 储运设备中的支承、绝热、安全与流程设计等关键技术的技术水平,最后对发展我国 LNG 储运设备产业提出了一些建议。

主题词 陆地 液化天然气 储存 运输

大规模的天然气的供气方式有两种:管道输气和液化天然气(LNG)运输。采用 LNG 运输可使远洋天然气贸易成为可能;是解决海洋、荒漠地区天然气开发利用的有效方法;同时,LNG 输送成本仅为管道输送的 1/6~1/7,并可减少由于气源不足铺设管道而造成的风险,且液化前的净化处理使其成为洁净燃料。

我国的天然气开发与应用市场已开始启动,其带动经济发展的潜力很大。“西气东输”就是这一战略中的一个重要组成内容。本文将介绍我国 LNG 储运市场状况、当前的技术水平及 LNG 储运关键技术,并对开发这一产业提出自己的建议。

我国当前 LNG 储运市场

目前,我国 LNG 市场主要有以下几个方面:气田建设,如中原油田;天然气液化站,如上海;LNG 运输,如山东淄博;LNG 供气站,如山东淄博、青岛、北京、深圳、上海等。现仅就 LNG 工业链中的液化站、LNG 运输和 LNG 供气站三个接点的 LNG 储运市场介绍如下:

1. 天然气液化站

目前,我国的中原、吉林、长庆、江苏、浦东、深圳等地已建成或在建 LNG 液化站。这些天然气液化站均包括天然气预处理、液化、储存等几个主要部分,其需要的储存容器容量见表 1。

2. LNG 运输

表 1 我国各天然气液化站储存容器容量情况

液化站	天然气生产量 (10 ⁴ m ³ /d)	拟配置储槽容量 (m ³)
中原油田	15~150	1 000~10 000(7 台)
苏北	30	2 000(13 台)
长庆	50	3 500(24 台)
上海浦东	15	1 000(7 台)
吉林	30	2 000(13 台)
深圳 ¹⁾	5	100(5 台)

注 1):储槽容量以储存 4 天生产量计;进口 LNG,按每周一次计。

我国天然气资源远离能源消耗区,往往不能得到有效利用,因此,天然气的运输显得尤为重要。管道输气的投资较大,适用于稳定气源与稳定用户间长期供气,而以 LNG 地面机动运输代替地下远距离管道输送,可以节省风险性管线建设,有效回收远海、荒漠地区的天然气资源。

按目前 LNG 产量,用 40 m³(有效容积 36 m³)的半挂槽车运输,需 70 台左右(按每车每天 1 次计)。到 2002 年,仅中原油田 LNG 产量将增加到 2 500 m³/d,需增加同类型槽车 70 台左右。

3. LNG 供气站

供气站是 LNG 应用点的供应站,非常适合于用气量大,又没有天然气源的地区。如山东淄博是一个工业城市,陶瓷工业等要消耗大量的燃料,故建立一个 LNG 供应站,第 1 期有 100 m³ 储罐 14 台,第 2 期要扩大。上海浦东的东海 LNG 调峰站的液化天然气的储量为 2×10⁴m³。另外在山东潍坊还要建

*徐 烈,1942 年生,教授,博士生导师;长期从事制冷与低温工程的教学与科研工作。地址:(200030)上海交通大学制冷与低温工程研究所。电话:(021)62933251。E-mail:Xulie@mail.sjtu.edu.cn

800 m³ 供气站,青岛、济南、烟台等处均要建立相应的接收站。每建一个储量为 1 500 m³ 的接收站,储槽需要投入 6 400 万,加上其它设施要达 1 亿左右。

按目前 LNG 市场需求看,仅“西气东输”一项将投入 1 200 亿元人民币,如按 1/10 的气体量送到沿线各站后再进行液化输送到用户,即有 120 亿元的市场。中国石油天然气总公司负责人预测,1 元的天然气开发后到应用(含液化、运输、终端与用户应用)要再投入 4~5 元,对国民经济的拉动力很强,即要再投入 500~600 亿元。而按 LNG 工业链的资金比例,LNG 接收供气站建设要占 5%~15%,即 25~75 亿元。目前的 LNG 供气站只有山东淄博、上海、深圳、北京等处在建设,属刚起步阶段,市场仅 2~3 亿元左右,山东的潍坊、青岛、烟台、济南,以及江苏、浙江、广东、北京、西安等处也在筹建中。按目前市场情况,会有 10 亿元以上的市场。

4. 市场预测

上述介绍了 LNG 国内市场。目前,我国的天然气储量可达 33.36 ×10¹² m³ (1997 年数据),天然气产量为 220 ×10⁸ m³,单塔里木一处储量达 5 050 ×10⁸ m³,2004 年一期工程完成后,每年将有 120 ×10⁸ m³ 的天然气输送到上海,总投资额超过 1 200 亿元人民币。按 LNG 工业链分析,如果其中有 1/10 的气体转化成 LNG 运送到远离管线的中小城市,需要投入资金为:天然气液化 30~42 亿元,运输 18~30 亿元,LNG 接收供气站建设 6~18 亿元,LNG 应用 30~42 亿元,其市场潜力很大。在此仅对其中几个 LNG 生产厂的初步统计资料中几种主要设备需求情况作预测(见表 2)。

表 2 LNG 主要设备需求预测

年份	单位	LNG 储槽 (100 m ³ 为例)	LNG 槽车 (30~40 m ³ 为例)	LNG 加液 (气)站	LNG 汽车储槽
2001	台 万元	16 1 440	10 1 500	2 6 400	500 150
2002	台 万元	80 7 200	50 7 500	30 9 600	3 000 900
2003	台 万元	150 13 500	126 18 900	60 19 200	7 000 2 100
2004	台 万元	300 27 000	200 30 000	100 32 000	10 000 3 000
2005	台 万元	400 36 000	300 45 000	150 48 000	15 000 4 500

注:100 m³ 储槽的总价为 90 万元/台,40 m³ 槽车总价为 150 万元/台,加气站每座 320 万元,LNG 汽车燃料罐每台 3 000 元。

当前我国 LNG 储运设备的技术水平

我国从近年开始才着手研制陆地用储存容器。目前主要有堆积绝热和真空粉末绝热两种类型的 LNG 储槽,容积从 30 m³、100 m³、150 m³、700 m³ (组合)不等。而结构型式有立式和卧式两种。LNG 槽车国内也是近年开始研制的。目前有 30 m³、40 m³ 和 45 m³ 等规格。因受车规的限制,目前真空粉末绝热一般以 30~35 m³ 为限,而多层绝热可能达 40~45 m³,而且从行走、底盘、制动、照明等方面均有新的改善。这类储槽的关键技术有以下几点。

1. 支承

储槽的支承主要有两种类型:支脚(有不锈钢支腿和玻璃钢支腿两种)支承和链条支承两种。这两种绝热结构已在大型低温储槽中广泛应用。但对于槽车,必须考虑到运输过程中的冲击、振动及冷补偿,要设计更为先进的组合支承结构。

2. 绝热

目前储槽多以真空粉末绝热为主,但在 LNG 槽车中以开始使用高真空多层绝热,其绝热空间仅 30~35 mm,这比真空粉末绝热小 10 倍左右,而且绝热效果好。绝热材料采用一种新型复合多层材料,其价格低廉,工艺性好。并采用一种加热充气置换新工艺,一般只需 10 天即可完成抽空。如上海交通大学提供技术,张家港市圣达因化工机械有限公司生产的 ZQZ9400 GD 低温液体半挂车,就是目前国产容积最大的 LNG 半挂车,容积为 40 m³,其日蒸发率小于 0.3%,已达国外同类产品水平,也是多层绝热技术在国内大型 LNG 槽车上的首次应用。

3. 安全技术

LNG 储运中,其安全性非常重要,应从储罐的布局、蒸汽压的控制,储罐及管路的情化与钝化,分层的消除,储罐与槽车的预冷等环节上给予控制,并在流程与结构的设计中考虑与完善^[2]。

4. 流程设计

因 LNG 是一种易燃易爆的低温液体,其流程中除有充液、排液、压力液面检测等之外,还应当有紧急截止阀、安全阀、放空阀、阻火器等。上海交通大学与张家港圣达因化工机械有限公司共同开发的 ZQZ9400 GD 低温液体半挂车就具有上述特点,并采用了轴向组合支承(一端固定,一端滑移)和径向组合支承(每组四支点)型的复合支承结构,复合式高真空多层绝热和常温低温吸气剂,以及相关的多层制作和抽气工艺,获得很好的效果,并获得了国家专

利(专利号 ZL00249960.6)^[3]。

目前,LNG铁路集装箱也在研制中。由上海交通大学、张家港圣达因化工机械有限公司与合肥通用机械研究所等单位共同开发的 40 英尺(1 英尺 = 0.304 8 m)、20 英尺铁路、公路混用集装箱即将投用。以解决从新疆到华东地区 LNG 的运输,并便于向用户直接供液。

对发展我国 LNG 储运设备产业的建议

从上述分析中可以看出,我国 LNG 应用面广,市场前景好。仅 2000 年 1~6 月,全国累计天然气产量 $134.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,同比增长 11.15%。2000 年全年达到 $262 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于我国 LNG 应用开发较迟,尽管 LNG 应用中目前开发的几种储运设备很快达到国际同类水平,但从整个国家利用天然气资源、提高经济性来看,还与国际上存在差距,为此建议做好如下几方面的工作。

1. 建立若干示范地区

将天然气“西气东输”与天然气液化站与终端应用开发有机结合,建立若干个示范地区,如北京、上海、广州等。

2. 注重研发各种类型储存容器

不仅要作好大容量 LNG 的储存容器(如日本有 $13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的大型 LNG 储罐)的研发工作,还应重视较小型储罐(如 80~300 L)的研发工作,从而开拓 LNG 的应用领域。特大型 LNG 储槽的绝热结构、结构材料、绝热材料均有特种要求,对防火、防冰等

有严格的要求,而小型储罐的超级绝热性、液化换热、安全可靠等方面也有许多特殊的规定。建议集中高校、研究所与企业合作,建立这类国产名牌的设备。

3. 加强对 LNG 用配套仪表的研发

LNG 用阀门、仪表等除有一般低温阀门仪表共性要求外,还有其特殊性,特别是对材料和结构有特殊的要求。应加强对这类仪表防腐蚀、安全性、可靠性的研究,从而可以大幅度降低产品成本。

4. 加强对 LNG 应用终端的开发研究

LNG 应用领域广,每个方面均存在 LNG 储运问题。只有开展这方面的配套研究,才能起到天然气“西气东输”带动经济发展的目的,如发电、建立区域供气、家庭制冷与采暖等,不然待大量天然气输到上海等处,后续的开发应用研究未跟上,会使其效益大大下降。

参 考 文 献

- 1 徐烈等. 低温绝热与储运技术. 机械工业出版社,北京: 1999
- 2 NEPA 59A Standard Production, Storage and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG), 1996 Edition
- 3 徐烈,李兆慈,童杰东,徐永生. 液化天然气运输储槽——专利. 专利号:ZL 00249960.6
- 4 宋武成. 天然气应用技术发展空间巨大. “天然气应用技术论坛”论文集. 上海,2001. 6:15~19

(收稿日期 2001-09-28 编辑 申红涛)

中国石油天然气股份有限公司计划增长在西南地区的天然气产量

据悉,中国石油天然气股份有限公司“中石油”表示,该公司今年已在西南部的四川盆地发现三个天然气田,可能的天然气储量总计达到 $252 \times 10^8 \text{ m}^3$,公司还计划将该地区的天然气产量提高 50%。

中石油旗下的西南石油天然气公司人士表示:中石油 2005 年在四川盆地的天然气产量预计将由 2000 年的 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长至 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,为实现上述目标,西南油气公司在今后 4 年内将把天然气年产量提高 $42 \times 10^8 \text{ m}^3$,开发重点是大天池和白马庙天然气田。专家预计,到达 2005 年,四川盆地的天然气储量将达到 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

中石油同时还加快了四川几个天然气处理厂的建设进程,其中一个位于重庆忠县,目前从重庆天然气处理厂到邻近的湖北省的输气管线已开始动工。预计到 2004 年,四川盆地的天然气处理能力将从 2000 年的 $55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长至 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

目前,西南油气公司正与法国 Sofregas 公司合作对四川省内长达 100 km 的天然气管线进行升级,该升级项目耗资 2.3 亿美元,包括管线修复、清理及管线延伸等,预计项目于 2003 年中期完成,届时四川省天然气输气主干线的输送能力将达到 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(陈敏 摘)

matched pressurized evaporator for the LNG transportation tank under the condition of having no external mechanical power, i. e. to apply self-pressurized mode in the top gaseous space to offloading liquid. There are two kinds of evaporator matched for the LNG transportation tank, i. e. air-heated evaporator and aquathermal evaporator, the former may economize on both energy source and investment, taking air as its heat source. The air-heated evaporator can fully meet the demand for offloading liquid at the Yangtze River delta region where the climate throughout the year is gentle and humid and only very few days' lowest atmospheric temperature was below zero centigrade. The design calculation of the self-pressurized air-heated evaporator for LNG transportation tank, including the gas phase and liquid phase physical property calculation of natural gas and the thermal calculation of the air-heated evaporator, are introduced, then the design parameters, as the heat exchange area and physical dimensions, etc., of the air-heated evaporator are given out in the paper.

SUBJECT HEADINGS: Liquefied natural gas, Transportation tank, Self-pressurized air-heated evaporator, Design, Calculation

Zhang Cunquan (Master), born in 1969, graduated in cryogenics at the Xi'an Jiaotong University in 1991 and received his Master's degree from the Cryogenic Research and Testing Centre of Shanghai Jiaotong University in 1996. Now he is a postgraduate studying for his doctorate in the centre and mainly engaged in the research on the cryogenic liquid storage and transportation and the space gas refrigerating machine. Add: No. 1954, Huashan Road, Shanghai (200030), China Tel: (021) 62933251

LNG LAND STORAGE AND TRANSMISSION IN CHINA

Xu Lie, Li Zhaoci and Zhang Jie (Shanghai Jiaotong University), Xu Yongsheng (Zhangjiagang Sanctum Chemical Machinery Co. Ltd.). *NATURAL GAS IND.* v. 22, no. 3, pp. 89 ~ 91, 5/ 25/ 2002. (ISSN 1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: Liquefied natural gas (LNG) land storage and transmission is an absolutely necessary part in natural gas industry, which is of great significance in promoting the development of natural gas industry. The status of the natural gas liquefying, LNG storage and transmission and LNG acceptance station, etc., in existing LNG storage and transmission market as well as the technical level of key techniques such as supporting, insulation, safety and flowing path design, etc., in the LNG storage and transmission equipment in China are introduced in the paper. And some suggestions on developing the LNG storage and transmission equipment industry are proposed finally.

SUBJECT HEADINGS: Land, Liquefied natural gas, Storage, Transportation

Xu Lie (professor), born in 1942, is a tutor of the postgraduate studying for his doctorate. He has been engaged in the teaching and research on refrigeration and cryogenic engineering for a long time. Add: Research Institute of Refrigeration and Cryogenic engineering of Shanghai Jiaotong University, Shanghai (200030), China Tel: (021) 629332511

DESIGN AND ANALYSIS OF NATURAL GAS LIQUEFYING DEVICE WITH A DELIVERABILITY OF TWENTY THOUSAND CUBIC METERS PER DAY

Niu Gang, Wang Jing (Shanghai Jiaotong University) and Huang Yuhua (Dalian University of Technology). *NATURAL GAS IND.* v. 22, no. 3, pp. 92 ~ 95, 5/ 25/ 2002. (ISSN 1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: As the "LNG demonstrating project in North Shannxi gas field", the natural gas liquefying device with a deliverability of $20 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$, which was built up and went into operation in January 1999, is the guiding project of developing LNG industry in China and is the first small LNG industrialized device in China. The major characteristics of the device are: to make use of natural gas expanding refrigeration recycle; to purify material gas by both low temperature methanol washing and molecular sieve drying; to get cryogenic refrigeration by gas wave machine and turbine expanding motor; to take advantage of gas engine as the power of recycle gas compressor; and to make use of the exhaust gas of gas engine as the thermal source of heating molecular sieve regeneration gas. All the units of the device are made in China and this device's being successfully put into operation has provided experience for producing LNG by use of the natural gas exploited from the remote oil and gas fields in China.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Liquefaction device, Design, Technological process, Simulation, Calculation

Niu Gang, born in 1970, is a postgraduate studying for his doctorate. He is mainly engaged in the research on chemical process development and multi-phase flow as well as thermal conduction. Add: No. 1954, Huashan Road, Shanghai (200030), China Tel: (021) 62933198

MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHMS OF HYDRAULIC ANALYSIS OF CITY NATURAL GAS PIPELINE NETWORK

Tian Guansan (Qinghua University), Zhang Zenggang (Shandong College of Building Engineer-