

LNG 的储存和运输

熊光德, 毛云龙

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: LNG 储存和运输在整个 LNG 链从生产到销售, 都是十分重要的环节和基础设施。LNG 的温度在 $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 为了保冷, 工厂储罐和运输油轮储罐都必须采用特殊材料建造, 建造技术要求很高, 安全技术和措施相当严格, 因此投资相当大。论述了 LNG 储存技术, 介绍了世界 LNG 工厂和 LNG 接收终端中 LNG 储罐情况, 简述了 LNG 运输技术。

关键词: 天然气; LNG; 储存; 储罐; 运输

文章编号: 1006-5539(2005)02-0017-04

文献标识码: A

1 LNG 储存技术

1.1 概述^[1~3]

在基地型 LNG 生产厂、调峰型 LNG 工厂和 LNG 接收终端, 以及在 LNG 运输过程中, LNG 储存是不可或缺的重要环节, 储存设施所占投资比例相当大。LNG 的储存方式有储罐储存和岩腔中储存, 储罐储存是最主要的储存方式。LNG 储罐分地面储罐和地下储罐两种。LNG 的可燃性和超低温性($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$), 对 LNG 储罐有很高的要求: 美国 NFPA 59A《液化天然气(LNG)生产、储存和装运标

准》对 LNG 储罐的结构、设计、建造、材料选择和操作安全等作了详细的规定。储罐在常压下储存 LNG, 罐内压力为 $3.4\sim 17.2\text{ kPa}$ 。

LNG 储罐形式的选择取决于投资费用、安全因素、工厂位置、地震、土壤沉降、冲击荷载、外来侵略和设备/材料等诸多因素。

据 2001 年日本《配管技术》报道, 目前世界 LNG 液化基地和接收基地 62 处中, 共有 309 座 LNG 储罐, 其中日本 168 座, 其它地区 141 座。储罐容量: 20 世纪 70 年代前为 $6\times 10^4\text{ m}^3$ 以下; 90 年代超过 $6\times 10^4\text{ m}^3$, 以 $10\times 10^4\text{ m}^3$ 的储罐为主, $12\times 10^4\text{ m}^3$ 以上的储罐占 44%, 最大的是日本根岸 LNG

表 1 世界几个大型 LNG 工厂 LNG 储罐

序号	LNG 工厂	液化能力/ $10^6\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	储罐容量/ 10^4 m^3	储罐类型
1	Arzew GL1-Z(阿尔及利亚)	31.17	33(3 $\times$ 11)	地面, 9%Ni
	Arzew GL2-Z(阿尔及利亚)	28.34	28.5(3 $\times$ 9.5)	地面, 9%Ni
	Skikd GL1-K(阿尔及利亚)	12.19	11(2 $\times$ 5.5)	地面, 9%Ni
2	Marsa el Brega(利比亚)	11.34	10(2 $\times$ 5)	地面, 9%Ni
3	Lumut(文莱)	24.09	18(3 $\times$ 6)	地面, 9%Ni
4	Das Island(阿布扎比)	9.92	30.4(2 $\times$ 15.2)	地面, 9%Ni
			24(3 $\times$ 8)	地面, 钢筋混凝土
5	Kanai(阿拉斯加, 美国)	5.24	10.8(3 $\times$ 3.6)	地面, 铝材
6	Blang Lancang(印尼)	34.01	50.8(4 $\times$ 12.7)	地面, 铝材
	Badak(印尼)	15.02	38(4 $\times$ 9.5)	地面, 9%Ni
7	Bintulu(马来西亚)	24.09	26(4 $\times$ 6.5)	钢筋混凝土

收稿日期: 2005-01-12

作者简介: 熊光德(1956-), 男, 四川安岳人, 副译审, 从事科技情报翻译工作。电话: (028) 86014476。

接收终端和扇岛 LNG 接收终端的地下储罐, 容量达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。 储罐情况见表 1; 世界部分 LNG 接收终端 LNG 储罐情况见表 2。

至 20 世纪末, 世界几个大型 LNG 工厂中 LNG

表 2 世界部分 LNG 接收终端 LNG 储罐

序号	LNG 接收站	LNG 供应国	LNG 储罐		
			总容量/ m^3	型式	材质
1	日本				
	Negishi(根岸)	文莱	1 250 000	地面、地下	9% Ni, SUS
	Sodegaura(袖浦)	文莱、阿布扎比	2 660 000	地面、地下	Al, SUS
	Senboku II(泉北 II)	印尼	1 405 000	地面	9% Ni
	Himeji II(姬路 II)	印尼	560 000	—	—
	Ohgishima I(扇岛 I)	—	200 000	—	—
	Higashi-Nigata(东新岛)	—	720 000	—	—
	Tobata(户田)	印尼	480 000	地面	—
2	韩国				
	Pyeong(平泽)	印尼、文莱	1 000 000	—	—
	Incheon(仁川)	印尼、文莱	600 000	—	—
3	英国				
	Canvey Island	阿尔及利亚	795 000	地面、地下	Al
4	法国				
	Montoir(蒙图瓦尔)	阿尔及利亚	360 000	地面	混凝土, 9% Ni
	Fos-Sur-Mer	阿尔及利亚	150 000	地面	9% Ni, Al
5	比利时				
	Zeebrugge(泽布吕赫)	—	216 000	半地下	9% Ni
6	西班牙				
	Barcelona(巴塞罗拉)	阿尔及利亚	240 000	地面、地下	9% Ni
7	意大利				
	La Spezia(拉斯佩齐亚)	利比亚	100 000	地面	9% Ni
8	美国				
	Lake Charles(莱克查尔斯)	阿尔及利亚	286 000	地面	Al
	Everett(埃弗里特)	阿尔及利亚	155 000	—	—

1.2 地面储罐^[2,4~5]

目前世界上 LNG 储罐中, 地面储罐数量最多。地面储罐按其结构可分为球罐、单容式、双容式、全容式与膜式罐等类型。它们的安全运行记录都比较好, 但现在人们更倾向于采用安全可靠性更好的全容式储罐。全容式储罐由 9% 镍钢内筒加 9% 镍钢或混凝土全封闭式外罐和顶盖构成, 见图 1。允许内筒里的 LNG 和气体向外罐泄漏, 但不能向外界泄漏。为了防止罐顶因气体压力而浮起和地震时储罐倾倒, 内罐用锚固钢带穿过底部保温层固定在基础上, 外罐用地脚螺栓固定在基础上, 储罐连同基础板固定在钢管桩上。

LNG 储罐入口一般设在储罐的顶部, 但也可以通过罐内插入管从底部注入 LNG, 这样可以根据

LNG 密度进行操作, 防止罐内 LNG 发生分层和翻滚。

地面储罐的设计压力可达 0.029 MPa, 设计温度为 $-170 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 抗震设计摩擦系数一般为 0.3~0.6。

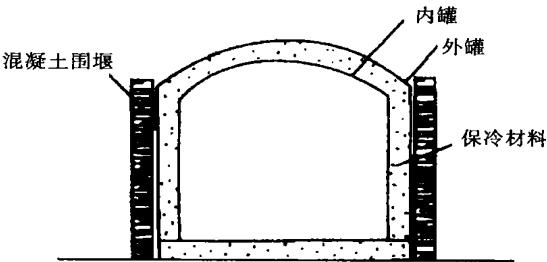


图 1 双容积式储罐

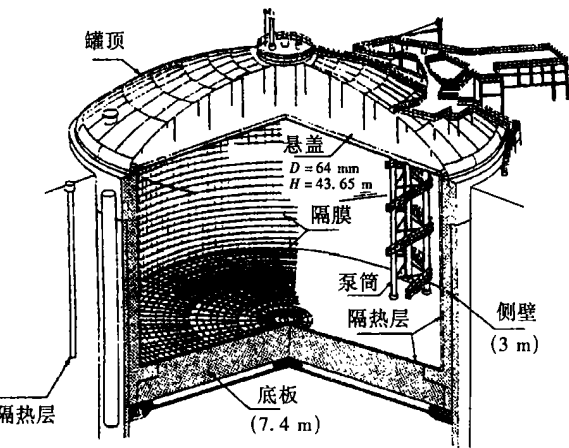


图 2 LNG 地下储罐

1.3 地下储罐^[2,6~7]

地下储罐除罐顶以外,罐体的大部分建在地面以下,LNG 储存的最高液面不超过地面;也有全部建在地面以下的,金属罐外是深达百米左右的混凝土连续地中壁。图 2 是地下储罐示意图。地下储罐的罐体建在不透水的稳定地层之上,为双层结构,内罐采取在罐体内部紧贴低温金属薄膜,外罐为钢筋混凝土结构;内外壳体之间充填绝热材料和氮气。LNG 地下储罐具有以下优点:容积大,占地少,多个储罐可紧密布置,对站周围环境要求较低,安全性高,储存液体不易溢出,具有防灾害性事故的功能,适宜建造在人口密集地区和海滩回填区上。但投资大,建设周期长。

日本是世界上 LNG 地下储罐最多的国家。东京扇岛 LNG 地下储罐容积达 $20\times 10^4\text{ m}^3$,金属罐上为混凝土罐顶,用土填平地面后种上草,不见储罐踪影,可防飞机在站区内坠毁等事故。

1.4 罐体材料的选择^[1,3]

LNG 储罐中内罐材料的选择是设计中最重要

的一个技术经济问题。由于 LNG 的可燃性和超低温性,对建造材料的选择必须慎重,一般要求是:a)应具有足够的强度(包括疲劳强度);b)在使用温度范围内,应具有充分的韧性,不会产生脆性破坏;c)具有良好的加工性和可焊性;d)价格低廉,容易采购。

能够满足这些条件,适宜建造 LNG 储罐的材

料有 9%镍钢、铝合金、珠光体不锈钢。9%镍钢的强度高,热膨胀系数小,至今是建造 LNG 储罐用得最多的材料。除以上几种材料外,国外还有采用 36%镍钢作 LNG 储罐材料的。

1.5 储罐安全系统^[1,3]

由于 LNG 的可燃性和超低温性特点,LNG 储罐系统的安全十分重要。为确保安全,美国 NFPA 59A 标准从设计上就规定了 LNG 储罐的安全距离,见表 3。

表 3 LNG 储罐间距

储罐水容量 / m^3	最小净距离/m	
	储罐到建筑红线	任两个相邻储罐之间
< 0.473	无	无
$0.473\sim 0.946$	3	无
$0.950\sim 1.892$	3	1
$1.9\sim 7.6$	7.6	1
$7.6\sim 113$	15	1.5
$113\sim 265$	23	3
> 265	储罐直径的 0.7 倍, 但不小于 30 m	相邻两储罐直径 之和的 1/4,但 不小于 7.6 m

储罐运行安全措施有:在储罐的 LNG 灌注管路上安装 ESD 阀,在储罐上安装液位报警器,防止过装;对有底部出口的储罐装设止回阀,防止出口管故障时 LNG 流失;设置过压或负压防护系统;在 LNG 储罐管嘴处设置气体探测器等。

2 LNG 运输^[1,7~8]

天然气的输送,凡管道能直达的地区,以管道输送为好。当管道难以直达或敷设管道不经济时,特别是跨洋运输天然气,则以液化天然气形式采用油轮运输较为经济。

2.1 槽车运输

运输距离短、数量不大的 LNG 输送,可采用公路槽车运输。20 世纪 70 年代初,日本就使用特殊的公路槽车把 LNG 从进口接收终端转运到卫星站。用公路槽车运输深冷液体已有多年历史,国内外技术都十分成熟。

超过一定距离,采用铁路槽车运输 LNG 比采用公路槽车较为经济。

2.2 LNG 油轮运输

多年以来,在 LNG 国际贸易中,主要采用专用油轮进行 LNG 跨洋运输。LNG 的远洋运输始于 1959 年,当时,“甲烷先锋号”油轮装载 5 000 m³ LNG 成功地从美国路易斯安娜州的查理斯湖,横渡大西洋运抵英国凯凡岛。近半个世纪来,随着造船技术的进步,LNG 油轮在数量和规模上都得到了很大发展。据统计,十年前约有 85 艘 LNG 船在海上运行,总载量约 9 027 309 m³。近十年来 LNG 运输油轮不断发展,历年建造的 LNG 油轮数,据美国国际战略研究中心 2004 年初统计和估计,2002 年 9~12 月为 3 艘,总容量 41.35×10⁴ m³;2003 年为 17 艘,总容量 234.37×10⁴ m³;2004 年建 20 艘,总容量 276.45×10⁴ m³;2005 年将建 13 艘,总容量 175.12×10⁴ m³,2006 年将建 7 艘,总容量 98.08×10⁴ m³。增大油轮容量可降低 LNG 运输费用,因此 LNG 油轮的容量不断大型化发展。表 4 列出了典型的 LNG 油轮尺寸。

表 4 典型的 LNG 油轮尺寸

尺寸	容量/m ³ (t)		
	125 000(50 000)	165 000(66 800)	200 000(80 000)
长/m	260	273	318
宽/m	47.2	50.9	51
高/m	26	28.3	30.2
吃水/m	11	11.9	12.2
货舱数/(个)	4	4	5

我国也即将涉足 LNG 远洋运输行业。中国液化天然气运输(控股)有限公司控股的船舶资产公司,近日与沪东造船厂签订了两条 LNG 运输专用船的建造合同,每条船的造价为 2 亿美元。它们将于 2006 年用于承担从澳大利亚运输 LNG 到中国广东的海上运输任务,海上航程为 2 771 n mile,往返一次 15 d,每次运载 LNG 6.5×10⁴ t。每条船一年可完成 22 个航次,一年能运输 LNG 142×10⁴ t。这

将是目前世界上最先进的 LNG 运输船。

2.3 管道输送

世界上,目前只在 LNG 调峰装置和油轮装卸设施上设有 LNG 低温管线,还没有长距离 LNG 管线的实例。但国外专家已从理论上对长距离 LNG 管线可行性进行了研究。理论研究表明,随着低温材料和设备技术的发展,建设长距离 LNG 管线在技术上是可行的,在经济上是合理的。由于 LNG 的密度是天然气的 600 倍,与输气管道比较,输送相同体积的天然气,LNG 输送管的直径要小得多,LNG 泵站的费用要低于压气站的费用,LNG 泵站的能耗要比压气站的能耗低若干倍。建长距离 LNG 管线的不足之处是:输送管道管材必须采用价格昂贵的镍钢;需采用性能良好的低温隔热材料;为实现低温液体单相流动,防止液体气化,需在管道上增建中间冷却站。因此,长距离 LNG 管线的初期投资较大。

参考文献:

[1] 四川石油设计院. 国外液化天然气(LNG)工业技术 [R]. 成都:四川石油设计院,1996.12.

[2] 杜光能. LNG 终端接收站工艺及设备[J]. 天然气工业,1999,19(5):82-86.

[3] Kumar S. Design and construction of above ground tanks [J]. Hydrocarbon Asia, 2001, 11(5):50-54.

[4] Toshinori Sagishima. Development of large capacity LNG aboveground storage with PC outer tank[A]. Japan: LNG 10 International Conference, 1992.

[5] 任继善. 液化天然气在我国的应用前景[J]. 油气储运, 2003, 22(5):7-10.

[6] 信息广角. 我国首支天然气运输船队将诞生[J]. 天然气经济, 2004, 103(5):74.

[7] 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.

[8] 徐烈, 李兆慈, 张洁, 等. 我国液化天然气(LNG)的陆上储存与运输[J]. 天然气工业, 2002, 22(3):89-91.

SELECTED ABSTRACTS

NATURAL GAS AND OIL
(QUARTERLY)
Vol. 23 No. 2 Jun. 2005

SPECIAL SUBJECT: Liquefied Natural Gas(LNG)Technology

Application and International Trade of Liquefied Natural Gas

HeYu, Yang Mei(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 1-5

ABSTRACT: Natural gas is a high-quality and environment-friendly energy source and fuel, and its percent in primary energy constituent in the world is more and more increasingly. Liquefied natural gas(LNG), as liquid state of natural gas has its unique properties and advantages and is widely used in industrial and domestic fields. International LNG trade is quite lively and needs for LNG are increased day by day.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Energy source; Fuel; Property; Application; Trade; Needs

World LNG Industry and Its Development

Xian Zhiwei, Xie Zhen(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 6-9

ABSTRACT: LNG industry is a large-scale systematic chain, which consists of multiple links including LNG production, storage, transportation and utilization etc. Discussed are world LNG production plant, its classification and development of LNG industry in China.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Current status; Development

Liquefaction Technology of Natural Gas

Yan Guangcan, Wang Xiaoxia(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 10-16

ABSTRACT: Discussed is liquefaction technology of natural gas including preconditioning methods, liquefaction process, main process equipment and its comparison and selection; Described are development trends of liquefaction technology of natural gas.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Process; Equipment; Development; Trend

LNG Storage and Transportation

Xiong Guangde, Mao Yunlong(China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) **NGO**, 2005, 23(2): 17-20

ABSTRACT: LNG storage requiring high capital is an important link and infrastructure in the whole LNG chain from its production to sale. Discussed is LNG storage technology and described are LNG storage tanks of large LNG plants and LNG terminals in the world, and summarizes LNG transportation.

KEY WORDS: Natural gas; LNG; Storage; Tank; Transportation

OIL & GAS TRANSPORTATION AND STORAGE

Application of Natural Gas Hydrate Technology in Storage and Transportation

Chen Shujun, Chen Baodong, Li Lijun, Hao Min(Department of Oil & Gas Storage and Transportation, Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, Fushun, Liaoning, 113001, China) **NGO**, 2005, 23(2): 21-24

ABSTRACT: Natural gas hydrate is a kind of simple crystalloid solid hydrate. It contains 150~170 m³ of gas per m³ solid hydrate under normal conditions, thus, great attention are paid to its giant ability and suitable conditions for nature gas storage. Analysis on hydrate and liquefied natural gas technology and economical comparison show that it is feasible and economic to storage and transport nature gas by means of hydrate. However, further research is necessary to apply this technology practically.

KEY WORDS: Natural gas; Hydrate; Storage; Transportation; Technology