

天然气应用与安全丛书

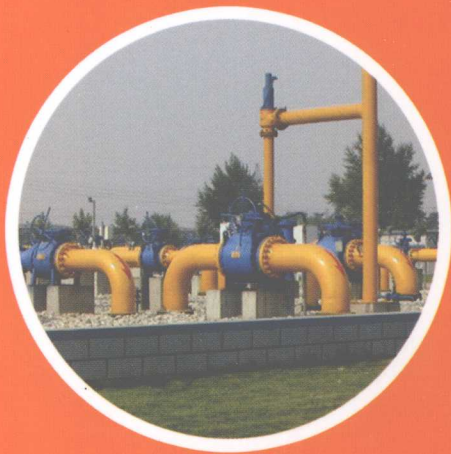


YEHUA TIANRANQI

液化天然气(LNG)应用与安全

(LNG) YINGYONG YU ANQUAN

郭揆常 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

天然气应用与安全丛书

液化天然气(LNG)应用与安全

郭揆常 编著

I. 液... II. 郭... III. 液化天然气 - 基本知识

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第191022号

中国石化出版社

地址：北京市东城区东直门内大街28号

邮编：100011 电话：(010) 845371830

读者服务部电话：(010) 84589334

http://www.sinopec-press.com

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京圣金文化发展有限公司(北京)印刷厂排版

北京圣金文化发展有限公司印刷

全国新华书店均有代售

830×1180毫米32开本 6.55印张 174千字

2008年1次印刷 中国石化出版社

定价：20.00元

内 容 提 要

本书系统地介绍了液化天然气(LNG)相关领域的专业知识,内容包括:液化天然气的特性、天然气的预处理和液化工艺、液化天然气的储存和运输、液化天然气接收站、液化天然气利用等。在阐述液化天然气工业链各个环节的基础上,特别注重安全技术的介绍。

本书可供液化天然气应用领域的工程技术人员、经营管理人员、设计与科研人员以及有关高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

液化天然气(LNG)应用与安全/郭揆常编著.
—北京:中国石化出版社,2007
(天然气应用与安全丛书)
ISBN 978-7-80229-462-2

I. 液… II. 郭… III. 液化天然气-基本知识
IV. TE64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 191022 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 6.625 印张 174 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

液化天然气(LNG)技术使天然气以液态形式存在,大大方便了天然气的运输和储存,有力地促进了天然气贸易,推动了天然气应用的发展。世界上液化天然气工业已经成为一门新兴工业迅猛发展。LNG是当今世界增长最快的一种燃料。LNG应用技术除了用来解决天然气储存运输问题外,还广泛应用于供气调峰、交通运输和冷能利用等方面。

随着我国经济的迅速发展,对清洁能源的需求日增,液化天然气的利用也提到日程。近年来,我国液化天然气工业从起步到发展,在LNG产业链的液化、储存、运输等各个环节上都有了显著进步。自2000年上海LNG调峰站建成投产以来,已相继建设了10多座小型天然气液化工厂。为了利用国外天然气资源,20世纪90年代开始,我国着手从海上引进LNG,规划在广东、福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、辽宁等沿海地区建设LNG接收站。其中广东大鹏LNG接收站已于2006年6月投产,福建、上海的LNG接收站正在加快建设,其他站也在筹建中。LNG的海上运输船已正式开始建造。

LNG工业是一门新兴工业,在我国只有十几年的历史,虽然起步较晚,但是发展迅速。不仅众多的工程设施正在建设,而且开始逐步形成液化天然气工业链。为了适应LNG工业发展的形势,需要有更多熟悉了解液化天然气技术的经营管理、工程技术人员。本书编著的目的就是为广大LNG从业人员提供比较系统

的 LNG 专业书籍，编写中着重于实用易懂。鉴于 LNG 低温易燃的介质特性，特别注重介绍 LNG 储存、运输的安全技术。我国各地已经投产和正在建设的 LNG 工程提供的有用经验，本书尽可能编入其中。

本书由上海石油天然气有限公司教授级高级工程师郭揆常编著，全书由上海交通大学顾安忠教授审稿。顾教授还为本书提供了国际 LNG 大会的最新信息和素材，在此特表感谢。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 LNG 的性质	(2)
第二节 LNG 产业链	(5)
第三节 液化天然气发展史和中国的液化天然气 工业	(6)
第四节 LNG 贸易和市场	(10)
第二章 液化天然气的安全特性	(16)
第一节 燃烧特性	(16)
第二节 低温特性	(19)
第三节 生理影响	(22)
第三章 天然气的液化	(24)
第一节 天然气的净化	(24)
第二节 天然气液化工艺	(38)
第三节 天然气液化装置	(48)
第四节 天然气液化设备	(63)
第四章 液化天然气的储存与安全	(86)
第一节 储罐形式和选型	(86)
第二节 储罐结构与建造	(95)
第三节 LNG 的储存安全	(103)
第五章 液化天然气的运输与安全	(117)
第一节 液化天然气的船运	(117)

第二节	液化天然气的车运	(122)
第三节	液化天然气的运输安全	(127)
第六章	液化天然气接收站及安全防护	(132)
第一节	接收站概述	(132)
第二节	接收站工艺及设备	(135)
第三节	安全分析	(150)
第四节	安全防护	(162)
第五节	安全检测	(184)
第七章	液化天然气利用	(188)
第一节	LNG 冷量分析	(188)
第二节	LNG 发电	(191)
第三节	LNG 作运输工具燃料	(198)
第四节	其他利用	(201)
(91)	.....
(92)	.....
(93)	.....
(94)	.....
(95)	.....
(96)	.....
(97)	.....
(98)	.....
(99)	.....
(100)	.....
(101)	.....
(102)	.....
(103)	.....
(104)	.....
(105)	.....

第一章 概述

天然气作为清洁、高效的气体燃料，由于其在环境影响、能源效率等方面的显著特点，已成为 21 世纪经济发展的重要能源。世界天然气生产和消费稳步增长，近 10 年中，天然气消费年平均增长 2.3%，天然气国际贸易年平均增长 6.5%。我国是增长最快的国家之一，预计今后 5 年，我国天然气生产将保持 20% 的年均增长速度，天然气消费也将以年均 11% ~ 13% 的幅度增长。

天然气的主要成分是甲烷，常温下以气态形式存在。而产地往往远离用户，运输主要靠管道输送。管输天然气常常以点对点的形式出现，贸易范围受到限制。在常压下，将天然气深冷到 -162°C 制成液化天然气(LNG)，使天然气以液态形式存在，其体积缩小为气态时的 1/600，适合用车船运输，由此出现了除管道输送外的另一种运输方式，以致天然气的远洋运输和贸易成为可能。而且，由于 LNG 方式比管输天然气交易灵活，不但可以转换出售对象，还可进行现货市场交易，大大促进了天然气市场的发展。

天然气液化不仅为天然气输送提供了另一种运输方式，而且也可解决天然气的储存问题。液化天然气广泛应用于天然气输配的调峰储存，提高了城市燃气和电厂供气的稳定性。液化天然气(LNG)技术的发展伴随着能源技术、低温技术、材料技术的进步，而 LNG 用于汽车、船舶、飞机等交通运输工具以及 LNG 的冷能利用等也是液化天然气利用的显著特色。液化天然气(LNG)作为天然气利用的一种形式，由于其在储存、运输方面的显著特点，将继续以较快的速度增长。

由于天然气具有易燃、易爆特点，故在其应用中，安全问题

始终是需要放在重要位置考虑的。液化天然气在实际应用时，也是要转变成气态使用的，而且由于液化天然气的低温状态，因此，对于 LNG 应用中的安全问题，不仅要考虑天然气所具有的易燃易爆危险性，还要考虑由于转变为液态以后，其低温特性和液体特征所引起的问题。LNG 在世界范围内已大量应用，几十年来没有发生过重大事故，在液化天然气的生产、储运、气化、应用等方面积累了丰富的经验，形成了相关的标准、规范、规定。这些都可以为我国液化天然气工业的发展提供有益的借鉴。

第一节 LNG 的性质

一、天然气的物理性质

天然气的主要成分是甲烷，其临界温度为 190.58K，在常温下，不能靠加压将其液化，而是经过预处理，脱除重质烃、硫化物、二氧化碳和水等杂质后，在常压下深冷到 -162°C ，实现液化。表 1-1 列出了 LNG 的主要物理性质。

表 1-1 LNG 主要物理性质

气体相对密度	沸点/ $^{\circ}\text{C}$ (常压下)	液体密度/(g/L) (沸点下)	高热值/ (MJ/m ³ ^①)	颜 色
0.60~0.70	约 -162	430~460	41.5~45.3	无色透明

① 101.325kPa、15.6 $^{\circ}\text{C}$ 状态下的气体体积。

按照欧洲标准(EN1160—96)的要求，氮气含量(摩尔分数)应小于 5%，法国对氮气含量的要求小于 1.4%，一般天然气中氮气含量均不高。如遇含氮量高的天然气，在液化过程中要将氮气脱除。LNG 产品中允许含有一定数量的 C₂~C₅ 烃。可以看出，这些杂质含量低于商品天然气的质量指标，所以 LNG 是一种更为纯净的天然气。典型的 LNG 组成见表 1-2。

表 1-2 典型的 LNG 组成^[1]

常压泡点下的性质	组成 1	组成 2	组成 3
组成(摩尔分数)/%			
N ₂	0.5	1.79	0.36
CH ₄	97.5	93.9	87.20
C ₂ H ₆	1.8	3.26	8.61
C ₃ H ₈	0.2	0.69	2.74
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀		0.12	0.42
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀		0.15	0.65
C ₅ H ₁₂		0.09	0.02
摩尔质量/(kg/mol)	16.41	17.07	18.52
泡点温度/℃	-162.6	-165.3	-161.3
密度/(kg/m ³)	431.6	448.8	468.7

表 1-3 是某些国家生产的 LNG 组成。

二、液化天然气的性质特点

(1) 温度低

在大气压力下, LNG 沸点都在 -162°C 左右。在此低温下 LNG 蒸气密度大于环境空气。通常 LNG 是作为一种沸腾液体储存在绝热储罐中的, 任何传入储罐的热量都将导致一定量液体蒸发成为气体。一般蒸发气中含有 20% N₂ 和 80% CH₄ 及痕量 C₂H₆。蒸发温度低于 -113°C 时, 其组分几乎是纯 CH₄, 温度升到 -85°C 或 CH₄ 中约含 N₂ 20% 时, 这两种情况下, 蒸发气密度均大于空气。而标准状况下蒸发气密度仅为空气的 60%。

(2) 液态与气态密度比大

1 体积液化天然气的密度大约是 1 体积气态天然气的 600 倍, 即 1 体积 LNG 大致能转化为 600 体积的气体。

(3) 具有可燃性

一般环境条件下, 天然气和空气混合的云团中, 天然气含量在 5% ~ 15% (体积) 范围内可以引起着火, 其最低可燃下限 (LEL) 为 4%。游离云团中的天然气处于低速燃烧状态, 云团内形成的压力低于 5kPa, 一般不会造成很大的爆炸危害。但若周

表 1-3 LNG 组成和部分物性

液化厂	组成(摩尔分数)/%							温度/°C	密度/(kg/m ³)		气体膨胀系数 ^①	高热值/(MJ/m ³)
	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	n-C ₄	i-C ₄	C ₅ [*]		液态	气态		
									0.1	99.8			0.10	0.85	91.5	5.64	1.50	0.25	0.01	421	0.72
阿拉斯加	0.1	99.8	0.10					-160	421	0.72	588	39.6
阿尔及利亚—SKIKDA	0.85	91.5	5.64	1.50	0.25	0.25	0.01	-160	451	0.78	575	44.6
阿尔及利亚—ARZEW GL2Z	0.35	87.4	8.60	2.40	00.50	0.73	0.02	-160	466	0.83	566	44.6
印尼—BADAK	0.05	90.0	5.40	3.15	1.35	0.05	0.05	-160	462	0.81	567	44.3
马来西亚	0.45	91.1	6.65	1.25	0.54	0.01	0.01	-160	451	0.79	574	42.8
文莱	0.05	89.4	6.30	2.90	1.30	0.05	0.05	-160	463	0.82	566	44.6
阿布扎伊	0.20	86.0	11.80	1.80	0.20	0.20	0.20	-160	464	0.82	569	44.3
利比亚	0.80	83.0	11.55	3.90	0.40	0.30	0.05	-160	479	0.86	558	46.1

① 气体膨胀系数指 LNG 变为气体(标准状态)时体积增长的倍数。

围空间有限，云团内部有可能形成较高的压力波。

第二节 LNG 产业链^[2]

LNG 产业链是一条贯穿天然气产业全过程的资金庞大、技术密集完整链系。由陆地或海上油田开采的天然气在液化工厂经过预处理后进行液化，生产的 LNG 按照贸易合同，通过船运到接收站储存、再气化，经由管网送到用户。图 1-1 是 LNG 产业链的示意图。

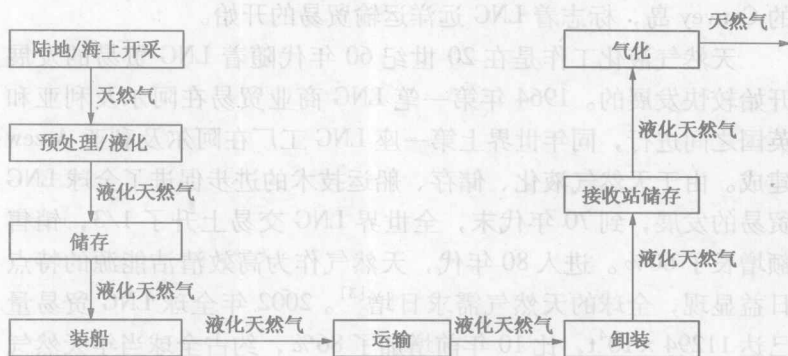


图 1-1 LNG 产业链

除上游的气田开发和下游的输配气管网外，LNG 产业链主要有三个环节：液化工厂、运输和接收站。LNG 液化工厂主要可分为基本负荷型和调峰型两类。目前，世界上正在运行的 LNG 运输船有 151 艘，其中 120 艘的运输能力超过 $12 \times 10^4 \text{m}^3$ 。另外，正在建造的液化天然气运输船有 55 艘，运输能力超过 $13.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 的有 46 艘，最大的运输能力超过 $25 \times 10^4 \text{m}^3$ 。LNG 接收站用于接收从基本负荷型液化天然气工厂通过海上运来的液化天然气。目前全世界已建立的 LNG 接收站有 40 多座。

第三节 液化天然气发展史和 中国的液化天然气工业

一、液化天然气发展史

20 世纪初, 气体液化在技术上已可行。1917 年, 美国正式用于氮萃取, 并在西弗吉尼亚建成气体液化工厂。20 世纪 40 年代, 英国使用液化沼气作为汽车燃料获得成功。50 年代, “甲烷先锋号”装载 LNG 从路易斯安那州穿过大西洋运送到英国泰晤士的 Canvey 岛, 标志着 LNG 远洋运输贸易的开始。

天然气液化工作是在 20 世纪 60 年代随着 LNG 贸易的发展开始较快发展的。1964 年第一笔 LNG 商业贸易在阿尔及利亚和英国之间进行, 同年世界上第一座 LNG 工厂在阿尔及利亚 Arzew 建成。由于天然气液化、储存、船运技术的进步促进了全球 LNG 贸易的发展, 到 70 年代末, 全世界 LNG 交易上升了 1/3, 销售额增长了 60%。进入 80 年代, 天然气作为高效清洁能源的特点日益显现, 全球的天然气需求日增^[3]。2002 年全球 LNG 贸易量已达 $11294 \times 10^4 \text{t}$, 比 10 年前增加了 86%, 约占全球当年天然气产量的 6% 和贸易量的 22%。预计 2010 年, 全球 LNG 供应能力将超过 $(2.9 \sim 2.95) \times 10^8 \text{t/a}$, 需求约为 $(1.78 \sim 3.24) \times 10^8 \text{t/a}$ 。

天然气液化工艺最早成熟的技术是阶式 (Cascade) 液化流程, 也称作级联式液化流程, 20 世纪 60 年代最早建设的天然气液化装置多用这种工艺。20 世纪 70 年代发展了混合冷剂液化流程, 大大简化了液化工艺。80 年代以后, 在此基础上发展为丙烷预冷混合冷剂液化流程, 进一步提高了效率。近期建设的基本负荷型天然气液化装置几乎都用这种工艺。

液化天然气的储存是液化天然气产业链中的重要一环, 对于平衡生产和消费的矛盾有着重要作用。因而, 在液化天然气的发展中, 储存占有重要地位。由于低温材料的限制, 液化天然气产业发展初期, 一般采用常温压力储存, 储存压力等于储存温度下

的饱和蒸气压，储罐的设计压力为最高储存温度下的饱和蒸气压。压力越高，钢材消耗越多。受钢板厚度的限制，容积不宜太大（一般小于 5000m^3 ）。这种形式的储罐，一般适用于储量较小的场合。在低温条件下，液体的饱和蒸气压较低，储罐的设计压力也可比常温的低，钢板厚度和钢材耗量也可减少。低温压力储存单罐容积增大，适合中型 LNG 储存站。20 世纪 60 年代以来，随着 LNG 工业的发展，经济安全的常压低温储存技术在一些发达国家开发和应用。常压低温储存是在液化天然气的饱和蒸气压接近常压时的温度进行储存。常压储罐的壁厚大大降低，储罐容积向大型化发展。目前，最大罐容已达 $20 \times 10^4\text{m}^3$ 。罐的结构形式也有单容罐、双容罐、全容罐和膜式罐等多种形式，适应了建设大型 LNG 储存基地的需要。

液化天然气船运是实现天然气跨国贸易的重要手段。1959 年 2 月，由杂货船改装的“甲烷先锋号”装载着 2000t 液化天然气从美国路易斯安那州穿过大西洋在英国 Canvey 岛登陆，将天然气送到了北泰晤士天然气站，实现了世界上第一次液化天然气的海上运输。LNG 运输船的结构，早期多为储罐置于舱面。20 世纪 70 年代，LNG 运输船进入大规模发展阶段。法国天然气运输技术 (GTT) 公司开发成功隔舱式，为薄膜型围护结构。挪威 Moss-Rosenberg 公司设计的球形储罐 LNG 运输船。80 年代，日本 IHI 公司在先前菱形舱 Conch 型 LNG 运输船的基础上开发的 SPB 型。这三种船型是当前 LNG 运输船的主流船型。目前，大型化是 LNG 运输船的发展方向。 $20 \times 10^4\text{m}^3$ 以上的 LNG 运输船已经建造。

二、中国的液化天然气工业

随着我国国民经济的高速发展，对能源的需求快速增长，特别是为实现可持续发展，改善生态环境，对清洁、高效的天然气的需求日增。我国在大力勘探开发国内天然气资源的同时，着手引进国外天然气资源。液化天然气使天然气以液态形式储存和运输，在降低成本、方便使用方面的诸多特点，为天然气的广泛利

用提供了条件。近 10 年来,我国液化天然气工业从起步到发展,在 LNG 产业链的液化、储存、运输等各个环节上都有了进步。

(一) 天然气的液化

20 世纪 80 年代末,我国开始进行 LNG 工业实践。90 年代初,中国科学院低温中心与四川燃气和吉林油田等单位联合研制了两台天然气液化设备。一台为生产能力 $0.3\text{m}^3\text{LNG/h}$,采用天然气自身压力膨胀制冷循环。另一台为生产能力 $0.5\text{m}^3\text{LNG/h}$,采用氮气膨胀闭式制冷循环。

90 年代中期,陕北气田利用偏远单井生产的小量天然气 ($2 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$) 为原料,采用膨胀制冷循环,将天然气液化后,用槽车运送到使用地点。以充分利用偏远地区的天然气资源。装置于 1999 年 1 月在长庆油田靖边基地建成投产。这些小型装置的研制为我国探索天然气液化技术提供了宝贵的经验。

2000 年 2 月,我国第一座天然气液化工厂在上海建成投产。该工厂是为东海平湖油气田供应上海城市用天然气提供事故调峰用气,日处理天然气 $10 \times 10^4\text{m}^3$,采用法国燃气公司设计的整体结合式级联型液化流程(Integral Incorporated Cascade,简称 IIC 液化流程),气化能力为 $120 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,储存能力为 $2 \times 10^4\text{m}^3\text{LNG}$ 储罐,可满足上游海上油气田停产 10 天的下游供气量。

2001 年 11 月,中原油田采用丙烷和乙烯为制冷剂的复叠式制冷循环天然气液化装置,日处理天然气 $15 \times 10^4\text{m}^3$,生产的 LNG 用槽车运送到用户。这是我国第一座商业运营的天然气液化装置。

2005 年,新疆广汇天然气液化装置投产。该装置采用混合制冷剂制冷循环,日处理来自吐哈油田天然气 $150 \times 10^4\text{m}^3$,LNG 储罐容量 $3 \times 10^4\text{m}^3$,所生产的 LNG 用槽车运送到各地用户^[4]。

2006 年 3 月新奥集团在北海涠洲岛建设的 LNG 工程建成投产,一期日处理天然气 $15 \times 10^4\text{m}^3$,二期扩大为 $48 \times 10^4\text{m}^3$ 。同年,四川犍为液化天然气装置、江苏天力液化天然气装置和南海燃液化天然气装置分别投产。另外,四川达州、广东珠海和内

蒙乌审旗的液化天然气装置正在建设之中，将于2008年投产。

(二) LNG 接收站

为了利用国外天然气资源，20世纪90年代开始，着手从海上引进LNG。规划在广东、福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、辽宁等沿海地区建设LNG接收站。这些项目将最终构成一个沿海LNG接收与输送网络。规划中的LNG接收站全部建成后总储存中转能力每年可达 $1800 \times 10^4 \text{t}$ 以上。2006年6月广东深圳大鹏湾建成我国第一座LNG接收站。其一期工程年接收LNG $370 \times 10^4 \text{t}$ ，建设3个 $16 \times 10^4 \text{m}^3$ 的LNG储罐。气化能力 $1200 \text{m}^3/\text{h}$ ，年输气量 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ 。福建湄州湾建设的LNG接收站，一期工程年接收LNG $250 \times 10^4 \text{t}$ ，将于2007年建成投产。上海建于洋山港的LNG接收站，一期工程也将于2009年建成投产，年接收LNG $300 \times 10^4 \text{t}$ 。

我国的天然气使用起步较晚，天然气消费的大幅增长在2000年后才开始出现。2005年中国天然气消费年增长率为20%。预计2020年，我国天然气消费量在一次能源消耗中的比重将从现在不到5%上升到12%，年需求量预计为 $2000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。随着国家对能源需求的不断增长，大力发展LNG产业，对实现能源供应多元化，提高我国环境质量有重要作用。进口LNG是利用国外天然气资源的重要渠道，2010年我国进口LNG将超过 $1200 \times 10^4 \text{t}$ ，2020年将会成倍增长。

(三) LNG 运输

船运是LNG运输的主要形式。LNG运输船是技术含量最高的船舶之一。我国是世界第三大造船国。上海沪东中华造船集团在完成了LNG船模拟舱制作的基础上，承建了我国第一艘 $14.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的LNG船。“十一五”期间，将完成5艘 $14.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的LNG船的建造。今后几年，为适应LNG运输的需要，还将建造多艘LNG船。

目前，国内生产的LNG是用槽车从产地运送到用户的。四川、江苏和河北的制造厂已试制并生产了半挂式LNG运输槽车，

其容积为 25 ~ 40m³，采用真空纤维隔热的双罐结构。LNG 罐式集装箱在江苏、河北和新疆等地制造厂生产。

第四节 LNG 贸易和市场

一、LNG 贸易特点

LNG 工业链是一个资金庞大、技术密集的完整链系。链中任何一个环节的断裂都将导致其他主要环节的连锁反应，因此，工业链的每个环节必须满足其相关合同规定的义务，且各个合同必须协调一致，综合整体情况规定相关义务。LNG 工业链的特点使 LNG 成为特殊商品，LNG 贸易成为特殊贸易，其贸易特点明显：

(一) 贸易合同期限长

由于 LNG 工业链投资大、回收期长，因此，LNG 国际贸易方式通常为买卖双方之间一对一的 20 年以上的长期照付不议合同。无论是与上游签订的天然气资源购销合同 (SPA) 或是与下游签订的天然气销售合同 (GSA) 都是如此。合同的长期性要求买卖双方共同规划，而在合同关系上可具备一定的灵活性。以保证合同长期、稳定、安全执行。

(二) 生效条件严格

为降低风险，在 LNG 的购销合同 (SPA 和 GSA) 中，一般都设置严格的生效条件。例如，在 SPA 中，将 GSA 的签署和生效作为合同的生效条件；而在 GSA 中，又将 SPA、运输合同等的签署和生效作为合同的生效条件，在 GSA 中，也常常将电厂与电网间签署长期购电协议 (PPA) 作为合同生效条件。设置严格的生效条件是为了使工业链中各个环节相互制约，共担风险，共享利益，最大限度地降低 LNG 工业链的风险。这是天然气销售合同不同于其他商品贸易合同的突出特点之一^[5]。

(三) 合同照付不议

为了保障卖方的生产安排长期稳定，以保证整个 LNG 工业链的平稳运行，天然气销售合同都采用照付不议。销售合同中