

2/15/1982

UNION INTERNATIONALE DE L'INDUSTRIE DU GAZ
INTERNATIONAL GAS UNION 国际煤气联盟

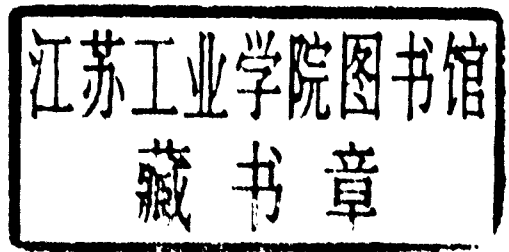


15th World Gas Conference
XVe Congrès mondial du gaz
Lausanne 1982

第十五届世界煤气会议文件汇编

H 分 册

液化石油气和液化天然气



城 市 煤 气 情 报 网

第十五届世界煤气会议文件汇编

· H 分 册

液化石油气和液化天然气

城市煤气情报网组织编译

主 持 人 刘 玉 武
执 行 编 辑 田 智 刚 吴 训 聆
本 册 责 任 编 辑 温 士 琨

一 九 八 三 年 十 月

编 印 说 明

国际煤气联盟(IGU)是由几十个国家或地区的煤气学(协)会组成的国际性煤气学术组织。联盟下设 A(天然气生产、加工和地下储存)、B(人工煤气生气)、C(燃气输送)、D(燃气分配)、E(燃气在家庭和集体事业的应用)、F(燃气在工业和商业的应用)、G(统计、文献和其他)、H(液化石油气和液化天然气)共八个专题委员会,就有关煤气工业的各种专题开展多种形式的交流和合作。

国际煤气联盟每三年召开一届世界煤气会议。第十五届世界煤气会议于一九八二年六月在瑞士洛桑举行。各委员会向会议提交了工作报告,会上还宣读和交流了81篇专题论文。

为使国内煤气界和有关单位及时了解世界煤气事业及煤气技术的发展动向,城市煤气情报网组织力量对第十五届世界煤气会议全部文件进行了翻译,按专题编成八个分册,内部发行。为压缩篇幅,突出精华,全部文件均采用摘译或编译的方法。译文中对有争议的译名(如“煤气”或“燃气”)不强求统一。限于翻译和编辑水平,疏漏之处在所难免,敬希读者批评指正。

城市煤气情报网中心组

**第十五届世界煤气会议文件汇编
(H分册)**

城市煤气情报网编

(联系地址:北京市煤气公司情报室)

一二〇一工厂印刷

内部发行 工本费 0.80 元

目 录

IGU/H-82 液化气委员会报告	
H-I 液化天然气分会报告	(1)
H-II 液化石油气分会报告	(10)
IGU/H1-82 法国煤气公司租用甲烷船的经营和技术管理 经验	(16)
IGU/H2-82 英国液化天然气设备设计及运行的最新发展	(17)
IGU/H3-82 天然气输送管线丙烷注入量的控制	(23)
IGU/H4-82 未来对液化石油气的大量使用	(28)
IGU/H5-82 以天然气代替水压试验重检液化石油气钢瓶	(34)
IGU/H6-82 乙烷、丙烷和丁烷回收装置的模拟	(35)
IGU/H7-82 液化天然气热物理特性数据的计量与有效性	(38)
IGU/H8-82 新型液化天然气气化器及液化天然气冷能 发电	(42)
IGU/H9-82 模型研究重气体弥散各种方法的比较	(48)
IGU/H10-82 美国对液化天然气安全性的研究	(52)
IGU/H51-82 北海边缘天然气田海上液化天然气装置	(57)
IGU/H52-82 荷兰埃姆谢温液化天然气门站和煤炭气化厂 的联合设施	(61)
IGU/H53-82 捷克斯洛伐克液化石油气输配的现代化	(64)
煤气工业中的节能问题专题工作组报告	(67)

IGU/H-82 液化气委员会报告

报告人 H 委员会主席 J. R. 伦施〔美〕
 HI 分会主席 C. E. 博内〔法〕
 HII 分会主席 F. 德默加〔比〕
 编译者 贾秋明 何友慎 邹树人
 吴小玲 孙淑荣

H-I 液化天然气分会报告

一、液化天然气(LNG)工业的发展与国际贸易

天然气国际贸易的发展, 长期来曾被一些技术问题所束缚, 主要是这种易挥发气体的长距离输送以及液态运输时需进行冷缩等问题。

以 1980 年为例, 世界天然气就地消耗的占总生产量的 85%, 仅有 15% 即 2000 亿米³/年经国际输送。

天然气液化工业的发展仅有 15 年的历史, 在此期间尽管遇到了不少问题, 但其发展速度仍是喜人的。据统计, 1980 年液化天然气国际运输量约占天然气总输送量的 20%

即 400 亿米³。

基于已在实施及可能实施的计划情况, 预计到 1990 年液化天然气在国际贸易中将增长一倍以上, 即可达 1000 亿米³/年。

液化技术虽已基本解决, 但仍有三个问题为人们所担心, 即:

1. 大量投资问题;
2. 天然气价格的波动;
3. 安全供应。

这将是今后研究的主要课题。

据 1981 年 10 月统计, 世界液化天然气贸易(包括已达成及正洽商协议的在内)的主要情况, 汇总于表 1-1。

表 1-1 世界液化天然气贸易情况 单位×10⁹m³(n)/年

进出口	英 国	法 国	意大利	西班牙	日 本	美 国	比利时	总 计
阿尔及利亚	1.0	9.1		4.5		15.5	5.0	35.1
利 比 亚			2.3	1.1				3.4
美 国					1.3			1.3
文 莱					6.4			6.4
阿 布 札 比					2.6			2.6
印 尼					17.4			17.4
马 来 西 亚					7.5			7.5
总 计	1.0	9.1	2.3	5.6	35.1	15.5	5.0	73.6

注 1. 统计日期: 1981 年 10 月;

2. 表中数字为概略值, 合同已在各有关团体间拟定中。

表1-2 已投产或建设中的液化天然气厂情况

液化厂	位置	气田	投产日期	生产线数	进厂气流量	液化天然气产量	进厂气主要成份	提取物
GL4Z	阿尔及利亚 阿尔泽	Hassi R'Mel	1964.10.	3	6×10^6 m ³ /生产日	8250m ³ (液)/生产日	N ₂ 5.80. CO ₂ 0.21. He 0.19. C ₁ 83.00. C ₂ 7.10. C ₃ 2.25. C ₄ 1.00. C ₅₊ 0.45.	/
KEN AI	美国阿拉 斯加基奈	North Cook Inlet (70%)	1969.10.	1	1.85×10^9 m ³ /年	当量煤气; 4.65×10^6 m ³ /日	CO ₂ 0.10. N ₂ 0.43. C ₁ 99.39. C ₂ 0.08.	/
MARSA EL BREGA	利比亚	Zelten- Ra'buga (伴生气) Meghil (天然气)	1970.4.	4		当量煤气; 约 3.5×10^6 m ³ /年	C ₁ 约70%. C ₂ 15%.	/
文 莱	文莱卢穆特	南 海	1972.12.	5	21×10^6 m ³ /生产日	36250m ³ (液)/生产日	N ₂ 0.10. CO ₂ 0.80, C ₁ 88.70. C ₂ 4.80. C ₃ 3.20. C ₄ 1.50. C ₅₊ 0.90. H ₂ S 0.2ppm.	冷 缩 265000吨/年
SKIKDA	阿尔及利亚 斯基克达	Hassi R'Mel	1973.1.	3 (1, 2, 3)	17×10^6 m ³ /日	19500m ³ (液)/日	N ₂ 5.80. CO ₂ 0.21. He 0.19. C ₁ 83.00. C ₂ 7.10. C ₃ 2.25. C ₄ 1.00. C ₅₊ 0.45.	C ₂ : 169000吨/年 C ₃ : 160000吨/年 C ₄ : 95000吨/年
SKIKDA	阿尔及利亚 斯基克达	Hassi R'Mel	1981.10.	3 (4, 5, 6)	18×10^6 m ³ /日	21350m ³ (液)/日	同 上	C ₂ : 172000吨/年 C ₃ : 164000吨/年 C ₄ : 130000吨/年
DAS ISLAND	阿布札比	海上: Umm Shaif-Zakum. EI • Bundog. Gaz Associé.	1977.4.	2	12×10^6 m ³ /日	约 15000 m ³ (液)/生产日	变动较大 CO ₂ 平均 5% 克分子 H ₂ S 平均 4% 克分子 液态时 C ₁ 83% C ₂ 16% C ₃ 1%	C ₃ 663000吨/年 C ₄ 424000吨/年 C ₅₊ 220000吨/年
BADAK	印度尼西亚 Bon Tang Bay.	第一阶段: Badak 第二阶段: Badak, Nilam及 伴生气	1977.8.	2	14×10^6 m ³ /生产日	21200m ³ (液)/生产日	N ₂ 0.06. CO ₂ 2.94. C ₁ 87.44. C ₂ 4.51. C ₃ 2.84. C ₄ 1.29. C ₅₊ 0.92.	/
GLIZ	阿尔及利亚 Bethioua	Hassi R'Mel.	1978.2.	6	40×10^6 m ³ /生产日	53200m ³ (液)/生产日	同GL4Z	/
ARUN	印度尼西亚 Blang Lancang	Arun.	1978.10.	3	24×10^6 m ³ /生产日	28500m ³ (液)/生产日	N ₂ 0.3. CO ₂ 15.0. C ₁ 71.0. C ₂ 6.0. C ₃ 2.6. C ₄ 1.4. C ₅₊ 3.7.	
GL2Z	阿尔及利亚 Bethious.	Hassi R'Mel	1981.7.	6	43×10^6 m ³ /生产日	53200m ³ (液)/生产日	同GL4Z	C ₃ : 380000吨/年 C ₄ : 330000吨/年
BINTU LU (在建设中)	马来西亚 宾图卢	南海	预计 1983	3	约 32×10^6 m ³ /日	6×10^6 吨/年	C ₁ 82.5% 克分子	/

二、已投产或建设中的液化天然气厂及其生产概况

液化天然气贸易开始于1964年,当时,阿尔及利亚(CAMEL计划)为了向英国和法国提供液化天然气,阿尔泽(ARZEW)液化天然气厂投入使用。

这个计划的逐步实现鼓舞着液化天然气工业的发展。自此,已有十家工厂相继建成并仍在增加。据统计,阿尔及利亚、印度尼西亚等共有十一家工厂已正式投产或即将建成投产,其主要情况汇总于表1-2。

三、船运简史及其运行管理

1. 液化天然气船运简史

二十年前人们第一次为液化天然气的船运寻找材料、实用的设计和建造技术。

海运液化天然气的发展来自不同的方面。1925年Constock方案用驳船进行了可行性研究。进而1954年挪威的Lorentzen博士设计了17000吨的球罐船。英国1954年提出14000吨的甲烷船的设计研究。法国促进海运研究与在阿尔及利亚发现大量气层有关。大西洋两岸也在努力发展罐船技术。

为了安全操作,人们研究适合于 -165°C 的材料,它们基本上可以分成二类:(1)罐、管和装备用的建造材料,(2)承重和非承重的隔热材料。

研究、试验、开发进行了五年。1957年完成了对货船“NORMARTI”改装成5000米³液化天然气散装船的设计。货船罐用铝合金制成,经100%的X射线检查证明焊接良好。舱的隔热采用预制夹心式轻木壁板,表面贴上枫木、橡木层压板,壁板用螺栓和一系列密封材料装成。船改名为Methane Pioneer,于1958年10月通过验证,1959年1月25日满载液化天然气从美国查尔斯湖到英国坎威岛甲烷站。这个每小时速度9.4海里、历史性的5064海里的航程宣布了液化天然气海运的新时期。

以后又有每个容量27400米³的“Metha-

ne PRINCESS”和“Methane PROGRESS”投入工作。

最早的一次突破是1964年5月Pythagore号采用隔板式系统。

由于新的贸易计划如阿拉斯加/日本,文莱/日本,利比亚/意大利,阿尔泽/法国,斯基克达/法国等的出现,船厂定货增加。

坎威甲烷终端站1973年以来已经使用8个船厂和17个船主的25条液化天然气运输船。

现在世界上液化天然气运输船已增加到71个,并有20个定货。

2. 立法简史

由于社会舆论和工业发展的要求,成立了轮船设计和装备的政府间海事咨询局小组委员会(IMCO)。1971年9月召开第一次会议。

IMCO在1971年10月,通过了一个大容积化学品运输规程。1975年11月,此规程被国际上所采纳。规程的基本指导思想是:在正常操作下贮罐事故应该避免,当发生事故时尽量避免放弃货物,当不可避免时尽量减少放弃货物量。这就要求有较好的贮罐设计,正常操作下产生的裂缝,在破坏以前将发出大量的警告;或采用保守的设计,在正常工作时不发生事故。许多船罐系统只要安全水平符合或高于现有要求水平的就可以采纳。例如要求在轻度的碰撞和搁浅时船罐保持完整;规定罐和船的龙骨要有一定的距离。

当然不可能设计出一种船来承受严重的碰撞和搁浅而不损伤负荷系统,所以就只能利用在海岛水域限制其它船只靠近油船的条例来防止碰撞。

可以采用某种方法来限制已发事故的扩展;例如设置活态的或惰态的消防系统来防止在燃烧着的罐旁边的罐过热。

1978年为开发提高海运安全的国际协议有很大进步。采用了二个新的IMCO规程,其内容一个是为船的安全和防止污染规定的

驾驶和安全系统，另一个是对船制定严格的检查步骤。

3. 运行管理

(1) 贮罐系统：从“Methane Pioneer”号投产后共发展了22种不同的货罐系统，一些是与商业运输船结合起来的，另一些则是实验船。

在服役和已定货的液化天然气运输船上所选择的贮罐系统列在表 1-3。

表 1-3 液化天然气运输船贮罐系统

贮罐系统	贮罐规模 米 ³				总计
	< 20,000	20,001 } 55,000	55,000 } 100,000	> 100,000	
Conch 自支撑	1	2	—	3 ⁺⁺	6
Mose Rosenberg球型	—	2	2	24	28
Sener 球型	1	—	—	—	1
Technigaz 球型	1	—	—	—	1
ESSO 自支撑	—	4	—	—	4
Technigaz 隔板	1	2	5	5	13
Gaz Transport 隔板	—	3	4	18	25
Gaz Transport moc 隔板	—	—	—	2 ⁺⁺⁺	2
Gaz Transport自支撑	—	1	—	—	1
其 它	7 ⁺	—	—	—	7
总 计	11	14	11	52	88

+ 包括Masachuse tts 驳船；
++ 不宜用作液化天然气运输；
+++ 取消定货。

各种系统是用航行 5000 次、海运行程 15 万海里运输超过 2 亿米³液化天然气的事实来验证的。

实践证明一些罐的泄漏是由于不良的加工和设计。有一个船曾在罐顶部发现泄漏，通过改换零件而得解决。其他罐也改换了此零件。

应特别重视液面晃动作用，Polar Alaska 号在半满的前罐上的电缆支持系统，由于 LNG 的液面晃动而被破坏；Arctic Tokyo 号后壁舱底部主隔板隔热箱由于液面晃动受到

损害。两次事故和模型试验计算说明，在一定的海洋条件下液面晃动产生的力是严重的被低估了。

(2) 有关入港时的限制和规定：为使运输船安全停泊，设必要的防波堤；为了生态学上的原因，泊位需建在离岸相当距离的远处，并有海下通道，内设电气管道和服务系统。在人口稠密、船只云集的地方，制定相应的海运条例等，是维护港口安全的主要措施。

多数大船几乎在任何地方都需要拖船协助，尤其在转向和靠岸时。一个 125,000 米³船按具体条件需要 3~7 条拖船。拖船离终点站行驶的范围，按当地航行船的密度决定。

领航员对船主来说是很好的咨询者。由于海上条件，有时领航员上船有一定困难，一些操作者喜用直升飞机领航。

任何其他船只如油船、货船等，均不得在规定的行驶安全区内驶近液化天然气运输船。在停泊时距一些终点站也要保持在 50 米以外。

多数港口区对船速有限制。此外气象条件(如风、雾等)超过操作者和调整者所规定的参数时所有的大船禁止到达港口。

(3) 交通控制系统：为避免碰撞，进一步帮助海员在高密度运输限制地区操作，美国、日本和许多欧洲政府建立了运输控制或运输咨询系统。如日本在东京湾和海岛海域使用运输航线制，这些航线清楚地画在航海图上，当大船打算航行在运输航线时，必需通知日本海运安全机构，船的前进受雷达和电算机的监控。

(4) 液化天然气运输船的停泊安排：停泊中的液化天然气运输船必须抵抗诸如风力、水流力、过往船只的波动力以及冰、海潮等影响。因此，对最低净水深度、系船柱承载力、缆绳位置数量及材料等，均制定有相应的规定。

(5) 紧急离开和紧急关闭步骤：当气象

条件恶劣(如风暴)以及当终端站内或附近有火源时,需要紧急离开。

当需要船立即离开时,必须先执行事故关闭步骤。必须设计明显的关闭系统来保证船、装卸臂、终端管和其它主要装置。

A. 一级事故关闭:停泵以停止液化天然气的运送。在下列条件下应关闭船和岸上的阀门:供应到岸罐负荷阀上的压力是低压;负荷阀电路断电;加到栈桥上阀和快速脱开连接器的是低压;栈桥和船的阀从全开位置移开;事故关闭和控制电路断电;船上的接受罐出现高液位;船过分的移动而离开停泊位置;负荷系统超压。

此关闭系统的功能主要是任一主要控制系统失效,或阀门失效时,能安全的停止货物的运送。在开始一级事故关闭以后,要求很快达到无流动的状态。

B. 二级事故关闭:本系统首先要执行一级事故关闭,并要在预先的系列中使装卸臂脱开。系列应当设计当由于船离开装卸臂的操作范围时预防装卸臂和船受到物理损伤。有一固定的系列来保证当快速脱开连接器脱开以前,岸上和船上阀门都被关闭。

(6) 训练船上工作人员:1978年IMCO国际会议制定了关于训练和批准海员资格的规定,使之适合于特殊的操作。

4. 液化天然气运输船的将来

可以预见,发展液化天然气船运的一个领域是条例的改进,另一个将开发的领域是辅助推进装置。应用现有船上的泵的水喷射系统推进器已经在使用。当船失去主推进能力时,全旋转头部推进器作为一种驾驶和推进的方法正在进行研究。

船的尺寸将从现有的125,000米³增加到165,000米³和200,000米³,对船尺寸的限制,政治和经济上的因素大于技术上的因素。

新的容器系统肯定包括液化天然气运输船上的再液化系统。特殊容器系统的选择由船主和造船者决定。美国船主倾向于采用球

形容器系统。

现有的快速数据处理系统将包括数据处理和通讯系统。目的是改进和提高船和岸间的信息传递。岸上可以询问船队中任何船只,立即得到船所在的经度、纬度、航途、速度、转速、船控制数据,工程数据、工资表以及气象条件等信息。从岸上来的及时的信息使船长工作更容易。

将来一些可以采取积极步骤的LNG技术领域是节能,其中包括减少蒸发率。在120,000~130,000米³LNG船上,使用较厚的隔热层(隔板型约为600~800毫米,自支撑罐为250~300毫米)。在环境空气温度45℃和水温32℃时,设计的蒸发率约为0.25%/天。现在运行的船实际蒸发率比设计低约10%。

减少罐表面积和容积比可降低蒸发率。一条120,000米³到130,000米³LNG船,用4个罐比用5个罐蒸发率将减低0.02%~0.03%/天。

船外壳涂反射漆,限制热进入,可以降低蒸发率。选择合理的罐形也是降低蒸发率的措施之一。

冷却LNG罐的方法与选择罐系统无关。经验证明,增加喷入罐的气体不一定需要相应的降低罐壁温度。因为冷的传送主要受罐壁材料的传热系数的限制。安排适当可以节能。如罐在航程初段允许升高温度,在航行第二阶段再冷到货温。

减小船速可以大量减少消耗的燃料。例如一只135,000米³LNG船,当船速从20节降到19节,减少5%时,机器马力可以从26000千瓦降到22000千瓦,即减少15%。但是这种效果也受限制,因为燃烧蒸发气所产生的蒸汽仅能用在推进船上。目前使用的运输船由这些蒸汽所产生的马力足够17节到18节的速度使用。

所有运行的大LNG船,目前都采用蒸汽轮机。蒸汽轮机的油耗高于内燃机,在部

分负荷时效率的差别更大。在锅炉中安装再热器来增加蒸汽温度和压力可以减少汽轮机单油耗10%~15%。但这种节省能源系统的控制技术较比复杂。

最近研究的结论是：安装油燃料双冲程内燃机和一个液化蒸发气的液化站的联合体系是可取的。其经济效果是由船用油和LNG价格关系来决定的。

其它如改进水下船体形态，减少推进器速度和增加推进器直径，制造尽可能大型的LNG船的合理的运输计划等，都可以减少LNG船油耗。

四、液化天然气贮罐安全设计及其运转的进展

1. 历史背景

1944年美国俄亥俄州克利夫兰第一座大型液化天然气贮罐破裂，造成罐内全部天然气的损失和灾难性大火。当时大量贮存低温液体的技术尚未全部开发。这个罐破裂的原因是采用了不宜用于低温的金属和不合理而繁复的设计。但从这次灾害的规模来看，事故主要是贮罐缺乏足够容纳泄漏出来的LNG的第二安全壳，以致LNG流入排水沟渠，随着可燃蒸气进入下水道内而形成在居民住房内的爆炸。

1959年才开创了双壳贮罐的设计概念。它的作法是采用一个全焊接圆柱体贮罐，所使用的金属是能在LNG温度下有延性保证的材料，罐体四周有一个碳钢外壳，外壳与罐体之间填以珍珠岩保温材料，并充以加压气体以防止雨水和潮气侵入。此外还在贮罐外面设计了一周比较矮的围堤，围堤与贮罐之间的容积略大于贮罐的最大容积。1964年以后，由于使用LNG作为调峰手段和国际贸易迅速发展，实践说明上述贮罐的设计概念是合理的、可靠的。在本项报告中，这种型式的贮罐称为“常规型”，其它作法的贮罐和围堤则称为“非常规型”。

预应力混凝土贮罐用于储存液氧在1950

年就已建成，以后不断发展，也被认为适用于LNG的储存。但是在1973年美国斯塔腾岛上的第一个用于商业的这种LNG贮罐发生火灾，预应力混凝土罐壁虽未损坏但罐的保温层和里衬则完全烧毁。从此以后塑料里衬就不再用于LNG贮罐上。

另外一种LNG贮罐设计，经过使用也证明是不适用的，这就是不加里衬，采用冻结土壤的贮罐。这种贮罐蒸发量过大，同时使罐壁开裂。

2. 常规型及非常规型贮罐简介

(1) 常规型双壁金属贮罐

自1959年以来，世界上约建了200个大的常规型贮罐，绝大多数均符合API620附录Q的要求，容积一般小于60000米³，个别的也有达150000米³的。

还没发生过因贮液溢流而造成重大事故，也很少有LNG泄漏的情况。运行的情况说明这类贮罐是完全令人满意的。

A. 为减少LNG泄漏，对LNG贮罐设计的研究趋向：

(A) 进一步改造用于低温设备的铝合金及9%镍钢的性能。这项工作主要涉及到将材料的杂质含量降至最小限度、改善热处理工序及焊接、控制焊接的手段使其达到可靠的抗断裂性能、论证“事故前泄漏”的设计原则等。

(B) 补充在建造期间对检查和试验工作的要求内容。例如，在可能条件下对整个焊接处进行100%的X射线拍照，对断裂性能试验做具体规定其中包括焊接影响区和制作热焊试验板等，水压试验要求超过最大的工作负荷。

(C) 避免有直穿罐壁或底板的主要接管，因此要求采用罐内泵并要求进出口的连接管通过罐顶。

(D) 进一步研究更为可靠的监控装置、压力及真空放散系统。

(E) 监控系统应包括避免贮存物产生分

层现象以防止由于蒸发波动而引起“延迟混合”现象(“延迟混合”是因不同密度的 LNG 分层致使其相互间不能很快混合的现象)。

B. 减轻因贮罐泄漏所引起的后果,其措施是:

(A)采用能使泄漏迅速被检测出来的设施。

(B)保护碳钢罐顶免受 LNG 自罐顶管道泄漏所产生的影响。

在罐的围堤内分成隔断以减少 LNG 泄漏后的蒸发量。也可在围堤表面铺绝热层以减少蒸发,绝热层必需具有防水、耐气候变化、延缓火焰发生以及耐热耐久性。

其它措施如安装固定式高膨胀泡沫灭火器、在围堤墙上装设水幕以防止蒸气扩散等。

LNG 贮罐都设有紧急放散阀,阀要适应在大火下能承受热的侵袭,有的安装当 LNG 自放散阀外逸而着火时能灭火的装置。

贮罐要有固定喷淋装置以保护罐外壳不致受相邻贮罐着火发出的辐射热所损坏。

(2) 有高壁围堤的常规型贮罐

本类型由常规型双壁金属贮罐加上非常规型的高壁预应力混凝土围堤组成。

当万一 LNG 大量泄漏时围堤可起到减少蒸发量的作用,而且起始快速蒸发所产生的蒸气可以被圈在堤内因而减缓了扩散至大气的蒸发速度,同时,在高出地面上层的蒸气在到达地面之前也可以进一步与空气混合。从理论和风洞模拟试验都可以看出,这种围堤能使下风向蒸气传播的距离比常规型围堤在相同泄漏时小。

(3) 混凝土外壁地上贮罐

过去几年中对用于 LNG 温度下的混凝土性质作了大量的研究,例如混凝土在常温与低温循环下的性质,钢筋和预应力筋在常温与低温循环下的性质等。设计中需要特殊考虑的问题有罐壁与底板连接的做法。混凝土外壳必需能满足与混凝土围堤壁板同等功能作为二次安全壳的要求。同时,它还必须

满足作为外壳的正常功能,即:作为保温材料 and 加压气体的保护壳,作为防止潮湿侵入和罐顶的支承。因此混凝土外壳必须加作里衬以防止气体从罐内渗出或潮湿从罐外渗入。试验证明,采用碳钢作为里衬,只要能正确地预埋在混凝土内,在低温下是不会引起裂缝的。

混凝土安全壳在冷却情况下的性能必需仔细加以核算。要确定温度差和热应力。为避免产生大的裂缝,在混凝土表面上的应力分布必需是均匀的,措施是更多地采用钢筋而不是依靠预应力本身来解决。

设计中应考虑特殊的加筋以便能承受冲击荷载如飞机下坠等。施工中对各层混凝土的接头必需妥善处理以避免泄漏。

(4) 混凝土内罐

自西班牙巴塞罗纳的第一个混凝土 LNG 贮罐建成后,在美国里士满和斯塔腾岛也建成了预应力混凝土内罐的贮罐,外部有坚实的土护坡。

巴塞罗纳的贮罐,有预应力混凝土内罐、悬挂罐顶,及预应力混凝土外壳支承着混凝土球壳顶。容量为 80000 米³,内罐厚 0.4 米,有 9%镍钢的地板,外部碳钢隔气层可防止冷气通过混凝土渗至隔热层。

(5) 独立式金属内罐

此类型贮罐建于比利时泽布勒赫的 Dist-rigaz 煤气公司新储配站内,共 4 个,容积各为 87000 米³。罐体支承于混凝土沉箱内的柱上,采用沉箱的目的首先是作为罐体的支承构造,其次是使罐体可不与周围土壤及地下水压接触。因为罐体处于地下,所以减少了地面以上的体积。设计中考虑了地震荷载及自空中跌落的轻型飞机的冲撞力,也考虑了附近发生爆炸时的冲击压力和防火措施。

(6) 薄膜里衬混凝土贮罐

1965 年在法国南特建造了一个 2000 米³试验性的内衬薄膜的贮罐并运转成功。1980 年法国煤气公司在 Montoir 建造两个有不同

型式的薄膜里衬贮罐，容积为 120000 米³。每罐均有波纹形不锈钢薄膜里衬，保温层采用可承受荷载的胶合板和聚氯乙烯材料，保温层的外面是预应力混凝土外壁和混凝土球壳顶。

(7) 混凝土、土坡围护的贮罐

LNG 贮罐的混凝土外壳厚度一般按保持其本身的完整性和容纳内罐全部 LNG 泄漏量来确定。此种罐一般具有相当大的抗冲击及其它外力的能力。

如有特殊要求，可以增加壁的厚度。但最经济的办法是当地条件允许时作钢筋混凝土围护或土坡围护。在纽约，主要机场跑道附近的贮罐所采用的混凝土围护厚度达 3 米，这主要是为防止大型喷气机的冲撞。TWS 公司在斯图加特建造的 LNG 贮罐，在预应力混凝土罐体四周加作土坡围护以抵抗冲击力并防止受到邻近失火时热辐射的影响。

这种罐具有很多安全方面的特点。为使外壳能预防 LNG 自罐内泄漏或流出以致产生热冲击，用玻璃纤维(聚苯乙烯纤维)作隔热层，并用铝箔作隔液层阻止液体外流。隔热层用氮气置换并有检漏系统。罐顶有大型放散盖以放散 LNG 大量泄漏时的蒸发气体。

(8) 地下贮罐

目前，至少已有 21 个以上的地下贮罐在使用。罐体由金属薄膜作里衬，如最近在日本袖浦建成的容积为 130000 米³ 的贮罐。有关此种类型的贮罐设计规范业已正式颁布。东京煤气公司所以提倡此种贮罐，因为它具有下述优点：

- A. 周围有冻结土壤可以增加罐体强度，也具有抵抗外部冲击力的能力。
- B. 由于不设围堤，因而可缩小罐的间距。
- C. 减少了罐体在地面上的体积。
- D. 有利于抗震。1978 年的地震证明，地下的加速度反应比地面上者为低。
- E. 地下罐周围土壤起了二次安全壳的

作用，罐内液体不可能泄漏到地面上。

按照这种概念，罐壁周围的土壤是允许冻结的，这种贮罐的设计，目前已把早期设计中对冻土膨胀及其影响的问题不再予以考虑了。袖浦的贮罐，设计了庞大的混凝土基础，底板下布置了加热系统，罐体四周形成的冻土和冻土对罐周围管道支架的影响都可由热水供热系统予以控制。实践证明效果良好。

3. LNG 贮罐设计的指导思想

近来，LNG 贮罐设计趋向于按“双重整体性”(Double Integrity) 或“全部封闭”(Full Containment) 的方式考虑。这种指导思想可总结如下：

(1) 鉴于贮罐一旦发生事故，其后果难以想象。因此，必需使大量泄漏的可能性降至最低限度。

(2) 为满足上述要求，采取“双重整体性”的设计被认为是可取的。即利用另外的第二个独立的罐容纳事故泄漏的全部 LNG。

从根本上说，要采取一系列措施以尽量减少内罐发生事故的可能性。如对整个高度进行水压试验，100% 焊缝的 X 射线探伤，取消底板和侧板的穿管等。如果仍不能排除内罐脆性破坏，则外罐的设计必需考虑其能承受内罐破坏后的一切影响。

4. LNG 贮罐的运转

最后，本文将集中论述为保证 LNG 贮罐完整性具有特别重要意义的四个问题，即：置换、冷却、入罐和检查；压力控制及防止产生延迟混合现象；高液位监控；紧急事故处理措施。也应该指出，对一般经常性的安全运转事项也应给予同样密切的注意。例如制定人员培训计划、经常学习运转和维修注意事项、建立运转和管理程序并保证程序的执行等。

(1) 置换、冷却、入罐及检查

一般的作法是在完成最后阶段的施工试验和检查后，用液氮蒸发后产生的氮气吹出

罐内空气，继续吹氮气直至罐内含氧浓度达到安全限为止，这样做也是为了除去罐内大气中的水份，因水份凝结冰会影响罐的正常操作。然后，贮罐用天然气置换。当置换用气中含甲烷比例很大时，则可予以回收以节约用气。LNG 喷进罐内使之开始冷却，应小心控制勿使罐的温度应力超过规定。在一般情况下，在充 LNG 之前，要对液位指示计及罐内泵先进行测试。

必需有充分的理由(例如需要更换或修理罐内泵时)，才能将 LNG 罐升温并将罐内 LNG 全部置换出来。一般认为，如确实按现行规定在投产前进行测试和检查，又在罐投产后有充分的监控手段，则在罐的全部使用期限内是不需要经常性的罐内检修的。

当地下贮罐必需进行检修时，则先将 LNG 置换出来，后用常温氮充入循环，使罐内温度达到安全进入的程度。罐内升温对罐周围的冻土并无影响。进入罐内的工作人员应是受过相当训练的熟练工并配带特制的呼吸面具及携带式通话工具。还应备好紧急用的空气供应等救生工具。罐内氮气环境要严格监控其含氧和碳氢化合物的量。

(2) 压力控制和预防延迟混合

大部分 LNG 贮罐用压缩机控制罐的蒸发。压缩机的吸气端直接与罐的气相管相连，压缩机操作以能使罐内绝对压力保持不变或是使表压维持在一定范围为准。

假如表压过度下降，通常可采取两种方法预防罐内产生负压，即从配气系统自动喷入天然气或最紧急时打开真空放散阀。

假如表压过度上升以致不能再用现有的蒸发气压缩机控制时，则可先从高位热气排放口或从火炬管将蒸发的天然气排入大气。再紧急时用罐顶部的紧急放散阀排出。

避免大量排放可采取下述措施：

A. 设置大容量的蒸发气压缩机和良好的控制系统。

B. 设计承受较高压力的罐。

C. 从液化工厂的运转上和 LNG 运行操作上加以控制，避免产生过多的闪发气(Flash Gas)。

D. 预防延迟混合现象的发生和非平衡蒸发偏离现象：

(A) 控制送入罐内 LNG 的品质和密度。经验证明含氮量高的 LNG 更容易产生蒸发的波动，这是因为它会产生自动分层。

(B) 为避免不同密度 LNG 混合时出现的分层现象，在总 LNG 储站的贮罐上安装顶部和底部充气管，以便密度大的 LNG 在罐顶充气，而密度小的 LNG 则在罐底部充气。使用射流喷嘴混合法或将罐内 LNG 加以再循环等也是行之有效的方法。

(C) 事先了解 LNG 的装卸情况根据过去经验或通过热平衡计算其可能的蒸发量以判别是否存在蒸发量极低的现象。如果判断明确是如此，则意味着很有可能发生延迟混合。一般认为，防止延迟混合主要还是靠经验解决。

(3) 高液位监控

这是为了预防罐的超装，应该指出，超装的影响取决于罐的设计，尤其是取决于是否有通到围堤内的溢流管。围堤设计尺寸应按入罐的最大容量考虑。

高液位监控系统能用来触发紧急关闭系统，例如关闭送气管阀门或切断 LNG 输送泵。

常用于监控用途的设备有三大类：

A. 浮子液位计，用以触动高液位敏感器或积分式高液位浮子开关(过去所有的 LNG 罐均使用此种开关)。

B. 电容液位计，可在高液位时示警。

C. 温度敏感器，一般不用为一次液位敏感器，但它一经与 LNG 接触后就指示出很大的温度降。

(4) 紧急处理

紧急处理不仅包括必须限制 LNG 泄漏和火灾波及范围，而且也要对 LNG 贮罐可

能出现泄漏的现象或异常现象(如蒸发量过低或过高、超装等)采取必要的措施。

现在的趋势倾向于用更科学的危险性估计技术来设计 LNG 罐。这样可以发现很多潜在的泄漏原因,从而采取相应的预防措施。

特别重要的是要能发现内罐 LNG 泄

存在的位置和范围。对不能在两个壳壁中间进行泄漏探测的常规型双层金属罐来说,必须调查研究外壳出现局部低温点的原因,它可能是由于珍珠岩的下沉,或隔热材料设计的缺陷,或内罐泄漏所造成。

H-II 液化石油气分会报告

一、各主要国家液化石油气(LPG)的生产、消费、运输、储存及进出口情况

1. 液化石油气的生产情况示如表2-1。十几个国家的情况说明,1978年比1977年生产增长2.3%,1979年比1978年增长9.15%,1980年比1979年降低3.9%。

表2-1 液化石油气生产情况(吨)

	1977	1978	1979	1980
阿根廷	654 800	631 700	623 200	
澳大利亚		1 998 273	2 079 787	3 519 700
奥地利		236 000		
比利时	508 000	473 000	517 000	497 000
巴西		2 181 442	2 344 528	
加拿大				
(m ³)	6477 000	10 763 900	13 000 000	11 458 800
丹麦	154 000	203 000	131 795	106 523
西德	3 052 199	3 083 184	3 496 630	
芬兰	100 220	83 600	102 400	
法国	3 296 572	3 218 068	3 609 259	3 397 547
东德	284 000			
匈牙利	299 000	355 000	350 000	317 000
爱尔兰			20 000	
意大利	2 450 000	2 420 000	2 386 000	2 075 000
日本	4 457 000	4 702 000	4 677 000	4 115 000
荷兰	1 027 000	1 100 000	1 213 000	1 580 000
新西兰	5 900		9 795	
挪威			38 100	
波兰	193 886	215 347	201 881	
葡萄牙	142 604	131 985	172 557	
西班牙	1 223 152	1 161 340	1 188 093	962 878
瑞典	164 300	168 000	139 376	
瑞士	92 891			
英国	1 600 000	2 014 000	1 985 503	
美国		34 493 000	35 531 000	
南斯拉夫	311 182			

2. 液化石油气的消费情况示如表2-2。概括地说,1978年比1977年提高7.1%,1979年比1978年提高10.5%。

3. 液化石油气的运输情况示如表2-3。应该说明,由于某些国家在调查这个问题时遇到了困难,因此统计数字是很粗略的。

4. 液化石油气的贮存及进出口情况,分别见表2-4及表2-5。

表2-2 液化石油气消费情况(吨)

	1977	1978	1979
阿根廷	1 009 900	1 055 200	1 094 000
澳大利亚		161 130	173 970
奥地利		256 000	
比利时	523 000	552 000	600 000
巴西	2 083 685	2 351 795	2 587 230
加拿大		3 702 700m ³	5 239 000m ³
捷克斯洛伐克		127 230	129 913
丹麦	202 000	203 000	229 080
西德	2 761 941	2 785 983	3 142 720
芬兰	95 168		
法国	2 834 172	3 004 250	3 213 018
东德	279 000		
意大利	2 216 000	2 216 000	2 279 000
日本	11 625 000	12 969 000	14 025 000
荷兰	839 000	956 00	1 715 000
新西兰	6 200		9 700
波兰	160 526	165 586	171 231
葡萄牙	453 463	462 297	475 387
西班牙	2 162 867	2 306 627	2 494 331
瑞典	164 080	191 000	196 000
英国	1 400 000	1 318 000	1 353 000
美国		29 643 000	
南斯拉夫	388 746		

表 2-3 液化石油气运输情况(吨)

	1978	1979	1980
阿根廷	428 100	450 150	
澳大利亚	19 723	20 272	
奥地利	236 000		
加拿大(m ³)			11 097 000
捷克斯洛伐克	5 836	8 208	
法国	3 780 000	3 950 000	5 150 00
日本			13 952 000
新西兰		9 700	
波兰	201 726	192 786	
葡萄牙	179 384	187 132	
西班牙	1 661 108	1 827 698	
瑞典	181 000	196 000	

表 2-4 液化石油气储存情况(吨)

	1977	1978	1979	1980
阿根廷				
(m ³)	281 000	281 000	283 000	
澳大利亚			128 330	
奥地利		3 000		
比利时	47 000	47 570	47 570	44 900
巴西		50 000	51 000	
丹麦	29 000	16 000	19 000	
西德	37 467	65 000*	70 000*	
芬兰	79 840			
法国				
(m ³)	626 425	625 900	703 000	438 000(吨)
东德	26 000			
意大利				
(m ³)	155 000	186 000	231 000	
日本	2 464 199	2 729 054	2 729 054	2 513 000
荷兰	45 000	50 000	55 000	57 000
新西兰	500		600	
波兰	8 000	8 000	8 000	
葡萄牙	72 790m ³	69 000	69 000	
西班牙	307 860	308 455	332 585	338 970
瑞典	87 165	146 500	146 500	
英国	280 000		135 000	
美国		24 303 000	24 303 000	

* 未精制

二、液化石油气进出口问题

在国际间开始进行液化石油气的重大贸易, 至今已有十余年之久。最初的洲际性贸易可追溯至二十余年以前, 当时是用特别设

计的采取冷却方式的油轮由美国向英国运送丙烷的。从那时起, 大型油港便在近东、北非、远东、委内瑞拉等相继建设起来。但长期以来, 在欧洲各国使用的几乎仍是一些小型的油港, 借以保证着欧洲同非洲间液化石油气的运输。最近, 美国为进口液化石油气装备了几个大型油港, 目前正在工作着的油轮数量足可满足当前所需, 但液化石油气生产在不断增长, 因而油轮的吨位也将随之增加。

对于输油港, 各生产国为装运液化石油气作了一切必要的投资, 与此相反, 除美、日之外, 真正尽力装备大型液化石油气油港的工业化国家为数却不多。

液化石油气工业面临的重大问题是如何增加需求量解决产量过剩的问题。从 1982 年开始, 液化石油气产量大大高于消费国通常的需求量, 随着天然气新的加工设施在各生产国的建立并开始运行, 这个问题将更为突出。近期内可提高产量或成为新的液化石油气生产国的有阿尔及利亚、利比亚、沙特阿拉伯、科威特和阿拉伯联合酋长国, 尼日利亚也有一定可能性。从 1981 年 6 月开始, 国际市场就出现了过剩现象, 好像只有美国可以在短期内把市场上剩余液化石油气用掉。各消费国必须寻求新的液化石油气的使用途径。

到 1981 年 6 月为止的情报说明, 欧洲经济共同体为解决生产国不断增长的进口量而正在实施或准备的计划为数不多, 我们仅可举出的是目前在英国赫尔附近的北海上正兴建的储存设施, 两条地下通道的挖掘工作已开始于 1981 年 6 月, 它们位于两个炼油厂和一个卸船码头附近。

最近几年, 美国建造或扩建几个输入港, 以备在需求量增长时接受远东和近东的生产国家生产的丙烷。

总之, 关键的问题仍在于长期供应协定的达成、对装卸港储存设备和向地方分配工

表 2-5 液化石油气进出口情况(吨)

	1978		1979		1980	
	输 出	输 入	输 出	输 入	输 出	输 入
阿 根 廷	4 500	380 600		428 000		
澳 大 利 亚	1 692 162		1 572 235		1 351 696	
奥 地 利	39 000	59 000				
比 利 时	164 000	251 000	216 000	295 000	242 800	258 000
巴 西		168 240		244 225		
加 拿 大(m ³)	5 739 900		7 102 000		6 331 000	
丹 麦	21 000	93 000	8 208	195 000	11 378	143 762
西 德	315 179		372 697			
芬 兰	5 224	11 489	1 721	11 442		
法 国	539 116	314 323	753 997	450 767	705 990	571 996
匈 牙 利	133 000	20 000	113 000	13 000	72 000	20 000
意 大 利	440 000	250 000	418 000	230 000	233 000	594 000
日 本	36 000	8 237 000	12 000	9 669 000	3 000	10 063 000
荷 兰	330 000	260 000	519 000	667 000	545 406	942 803
葡 萄 牙	514	324 302	1 053	329 840		
西 班 牙	5 641	1 243 490	1 095	1 312 898		1 504 000
瑞 典	26 000	62 000	12 688	94 733		
英 国	758 000	81 000	744 503	176 316		
美 国	444 000	3 583 000	465 000	5 367 000		
爱 尔 兰				122 000		
挪 威	14 160	260 000	32 300	580 000		

具的大量投资。

已如上述，在液化石油气生产方面，一些大型的发展计划有的处于制定阶段，有的处于实施阶段。沙特阿拉伯多年来一直在加强气体加工设施和液化石油气生产设施。伊拉克计划建立一个新的液化石油气生产设施并在 80 年代中期投产。墨西哥已进口一些新的加工设备，现在正装备一套同油轮装载能力相配套的系统。尼日利亚也在筹建一座大型加工设施。如此种种，这必然会造成国际市场上液化石油气的过剩，迫使输入港和运输船也必需相应地增加。

液化石油气可作碳氢燃料代替汽油，作取暖燃料代替天然气或燃料油。在能源越来越紧张的世界里，液化石油气的过剩正好提供了良好的利用机会。

三、液化石油气在天然气管网中的应用

液化石油气用于天然气管网可有三种方式：液化石油气与空气混合后送入管网增加

天然气的供应量；液化石油气作为一种原料用以生产代用天然气；液化石油气用于其他原料生产的代用天然气的增热。

1. 液化石油气-空气混合气

当液化石油气-空气混合气加入天然气中时，即使其混合配比最佳，也会使气体的热力学特性和燃烧性能有所变化，所以“液化石油气-空气”加入量要有一个限度。有必要借助于燃具的适应性试验来扩大这一限度。此外，应避免输配系统中碳氢化合物冷凝，并必须使混合气具有和天然气同样的使用性能。

根据实地燃烧特性试验，英国认为天然气中最多可加入 17.5% 的液化石油气-空气混合气。

图 1 是英国 Bacton 天然气及加入不同量液化石油气-空气混合气的典型相图，它表明增加丙烷-空气混合气会提高露点(低于该温度则有冷凝液生成)，用丁烷-空气混合气