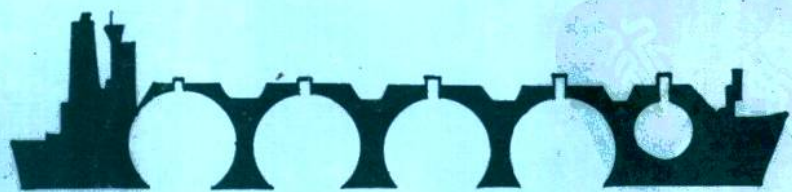


液化气体船

范思奇 编译



大连海运学院出版社

责任编辑:王铭霞

液化气体船

范思奇 编译

大连海运学院出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

液化气体船/范思奇编译. —大连:大连海运学院

出版社, 1993

ISBN 7-5632-0692-2

I. 液…

II. 范…

III. 液化气体船

IV. U674.924

大连海运学院出版社出版

(大 连)

大连海运学院出版社印刷厂印装 大连海运学院出版社发行

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.75

字数: 268 千 印数: 0001~1000

定价: 20.00 元

内 容 提 要

本书从介绍液化气体运输的发展入手,根据世界上的主要船级社规范、IMO 规则以及最新的发展技术和趋势,详细阐述了液化天然气、液化石油气的性质、用途,液化气体船船型,为适应于液化气体运输而采用船舶特殊结构和建造材料、货舱隔热的类型,布置及隔热方法。在此基础上,重点对货物装卸设备和系统、货物装卸程序和方法、货舱的安全系统,泄漏探测系统、推进动力系统等给予全面说明。此外,对船舶安全、防火防爆防毒、低温危害、操作安全、人员训练、交通管制等问题作了原则性介绍。最后,对液化气体船设计思想、设计方面的若干主要问题及设计标准进行了较深入地分析。

书中有大量插图,书后有介绍各种液货性质的图表和资料以供查阅。本书可供液化气体船船东、船员、船检、港监、进行液化气体运输和装卸的港口中从事具体工作的同志阅读和参考,对培训液化气体船船员的院校及船舶设计部门的工作也很有实用参考价值。

编 者

1993.10

前 言

液化气体船是一种将天然气、石油气等液化后的产物运到气体消费地或中转站的专用海上运输工具。

这种船舶与普通类型的船舶具有共性,但也具有其独有的特点。这是由其所装载的气体性质决定的。

由于气体必须在液态下运输,这就需要增压和降温,于是对船舶的设计和建造及其营运提出了特殊的要求。船舶结构、稳性、抗沉性、干舷、建造材料、货物围护空间、绝热、隔离等都必须适用于所载货物。然而为了解决这同一课题,却采用不同的解决办法,从而产生了不同的船型,如全增压船、全冷船、半增压/全冷船;也出现了不同类型的货物围护系统,如棱柱舱、球形舱、筒柱舱、薄膜舱等。

液化气船的系统和设备也与一般的其它类型的船舶有所不同。例如:货物装卸系统,透气释放系统,货物喷投系统,检测监视系统,空间的情化系统,液体气化后重新被液化的系统以及推进机械的双燃料系统等等。这些系统都是为满足货物运输、装载、保管和照料的需要而精心设计安装的。

为了保证船舶和港口的安全,除了对船舶和设备本身提出严格的特殊要求之外,对货物装卸也制定了科学的、严谨的操作规程,这是安全运输液体货物所绝对不可缺少的。

由于这种船舶的复杂性,要维护、检修和正确使用船舶及其系统,完成船舶所担负的运输任务,就必须配备合格的船员。他们必须能够掌握船舶性能,熟悉船舶结构,熟练地使用各种设备,了解各类货物的性质,因此对从事液化气体运输的每位船员都必须进行严格的专门培训。许多国家都设有这种培训基地。

液化气体船所载的货物具有危险性,当然各类货物的危险性在程度上有所不同,但为了保证港口、航道以及沿岸国水域的安全,防止船舶发生碰撞、搁浅、火灾等恶性海难事故,各有关港口当局都制定了一系列的交通管制规则并在实践中不断完善和修正。

液化气体船是商业的政治的经济的等诸因素结合的产物,它的出现和石油化学工业的发展、消费水平的提高也是分不开的。40年代以前气体被白白烧掉,那时虽然许多人认为这是巨大的浪费,应该设法利用。但是当时并不具备技术条件,也无法支付这种浩大工程的费用。直到五十年代,英、美、法、挪威等国才先后开始研制液化气体船,由此出现了这种新型的船舶。

当前,虽然发达国家拥有较大的液体船队,技术发展已达较高水平,IMO对这种船舶的设计、建造制定了统一标准,有关海运大国也制定了相应的国家规范,各主要船级社也都积极参与活动,但仍然存在许多技术上和管理上的问题,仍然需要人们去进一步探索和研究。

我国天然气、石油气储量丰富,市场巨大,完全具备发展海上气体运输的客观条件。但由于历史原因,在这方面至今仍是一片空白,与发达国家相比尚有很大差距。然而随着国民经济的发展,内外贸易的扩大,市场需要的增长,尤其是改革开放步伐的加快,这个问题终将被人们重视并将获得迅速发展。

在中国出现自行设计和建造的中国液化气体船和接收终端之前,本人愿将自己多年积累

的知识和经验奉献给有志发展我国海上气体运输业的读者,期望引起人们的关注,推动该项事业的起步和发展。

本书将对这种新型的现代化船舶的由来、发展史、船舶结构、类型、性能、建造材料以及各重要系统做一较全面的介绍;叙述船舶安全、货物装卸程序、交通管制、船员培训等问题;对船舶设计中的主要问题也给予简要说明。书后有附录,以便于了解气体性质、气体工程的一般情况。由于这是一个较新的课题,本人水平有限,不妥之处,请多批评斧正。

目 录

1 液化天然气的海上运输	1
1.1 LNG 的性质和用途	1
1.1.1 什么是天然气	1
1.1.2 附带天然气	1
1.1.3 非附带天然气	1
1.1.4 天然气的成份	1
1.1.5 LNG 的生产	2
1.1.6 LNG 的性质	2
1.1.7 天然气的用途	3
1.2 海上天然气运输的起源与发展	4
1.2.1 起源	4
1.2.2 解决办法的最初尝试	5
1.2.3 广泛的合作和进一步的试验	6
1.2.4 美国以外的活动	9
1.3 第一批试验船	12
1.3.1 第一条试验船“甲烷先锋号”	12
1.3.2 第二条试验船“布尤维斯”号	16
1.4 货物装卸系统	19
1.4.1 总则	19
1.4.2 对货物装卸设备的基本要求	20
1.4.3 货泵	21
1.4.4 船/岸驳运	22
1.4.5 甲板管线/阀	22
1.4.6 测试和控制系统	23
1.5 第一批商业 LNG 船	25
1.5.1 运输合同、船舶尺度和速度	25
1.5.2 船舶建造合同所规定的技术要求	25
1.5.3 铝材焊接	26
1.5.4 舱键设计	27
1.5.5 蒸发气排放方法	27
1.5.6 泄漏探测	28
1.5.7 货物装卸作业的遥控	28
1.5.8 双燃料	28
1.5.9 第三艘 LNG 船“朱丽沃”	29
1.5.10 第一批商业 LNG 船的营运经验	31

1.6 薄膜舱	32
1.6.1 薄膜舱的优点	32
1.6.2 薄膜系统应满足的要求	32
1.6.3 薄膜舱试验	32
1.6.4 工业瓦斯公司的设计	33
1.6.5 “贝壳”设计	35
1.6.6 “海洋贝壳”设计	36
1.6.7 “瓦斯运输”公司的设计	36
1.7 LNG 工程和投机船	39
1.7.1 历史背景	39
1.7.2 艾绍工程	39
1.7.3 阿拉斯加——日本工程	41
1.7.4 第一条投机船	42
1.8 球形舱	44
1.8.1 起源	44
1.8.2 球舱的优缺点、球支撑	45
1.9 市场繁荣和新型设计	49
1.9.1 “海洋运输压力系统”(1963—1968)	49
1.9.2 “牧师木兰系统”(1965—1971)	49
1.9.3 半薄膜设计(1961—1972)	50
1.9.4 “真来舱系统”	51
1.9.5 “林德”多容器系统	52
1.9.6 内部绝热系统	52
1.9.7 “远洋凤凰 LNG 压力系统”	54
1.9.8 “维洛乐母竖向筒柱设计”	54
1.9.9 “麦塔斯塔诺内绝热系统”	55
1.10 LNG 货物围护系统综述	57
1.10.1 简介	57
1.10.2 棱柱形自持舱	57
1.10.3 球形自立式舱	59
1.10.4 柱形自持舱	61
1.10.5 薄膜舱	61
1.10.6 半薄膜舱	63
1.10.7 围护系统的选择	64
1.10.8 船舱材料	66
1.10.9 舱绝热	68
1.10.10 第二代概念	69
1.11 货物装卸程序	70
1.11.1 简介	70

1.11.2	运输前天然气的液化	70
1.11.3	惰化和干燥	70
1.11.4	冷却	71
1.11.5	装货	71
1.11.6	满载航行	71
1.11.7	卸货	71
1.11.8	压载航行	72
1.11.9	暖舱	72
1.11.10	惰化和充气	72
1.11.11	储存及重新气化	73
1.11.12	装卸设备	73
1.11.13	测试设备和货物的测量	75
1.12	船舶主要性能和动力装置的选择	76
1.12.1	简介	76
1.12.2	运行的影响	76
1.12.3	LNG 船设计中对结构的考虑	76
1.12.4	动力装置的选择	77
1.12.5	船舶尺度、航速	78
1.13	船舶安全	79
1.13.1	简介	79
1.13.2	船体的低温危险	79
1.13.3	燃烧危险	80
1.13.4	碰撞和可能的溢出	80
1.13.5	LNG 船的安全营运	81
1.13.6	IMO 气体船规则	81
1.13.7	LNG 船的运行经验	82
1.13.8	结论	83
2	LPG 船	85
2.1	LPG 和化学气体的性质和用途	85
2.1.1	什么是 LPG	85
2.1.2	LPG 的用途	86
2.1.3	何为化学气体	87
2.1.4	化学气体的用途	88
2.2	LPG 船的发展史	89
2.2.1	介绍	89
2.2.2	全增压船	89
2.2.3	半增压式船	90
2.2.4	全冷船	91
2.2.5	绝热船	94

2.2.6	新发展	94
2.3	货物围护系统	96
2.3.1	简介	96
2.3.2	液化气体船的海协舱型	97
2.3.3	全增压船	98
2.3.4	半增压船	99
2.3.5	半增压/全冷船	99
2.3.6	全冷/大气压力船	101
2.3.7	绝热船	107
2.3.8	液舱材料	108
2.3.9	绝热	108
2.4	货物装卸操作	111
2.4.1	简介	111
2.4.2	干燥	111
2.4.3	惰化	111
2.4.4	用货物气体将惰性气体驱除货舱	112
2.4.5	预冷	113
2.4.6	装货	113
2.4.7	满载出航	114
2.4.8	卸货	114
2.4.9	加热装置	115
2.4.10	气体清除和改变货物	116
2.4.11	为检验和修理而进入货舱	116
2.4.12	重新液化设备	117
2.4.13	阀	117
2.4.14	测试仪器	118
2.4.15	与运输各种货物有关的问题	118
2.5	船舶安全	120
2.5.1	简介	120
2.5.2	火和爆炸(可燃性)危险	120
2.5.3	对健康的危害	122
2.5.4	低温危害	123
2.5.5	船舶设计中应考虑的安全问题	124
2.5.6	操作安全	125
3	LNG 船设计的一些问题	134
3.1	简介	134
3.1.1	围货系统的要求	134
3.1.2	设计概念	135
3.1.3	设计方法	136

3.2 LNG 和 LPG 船的设计	140
3.2.1 运输方法	140
3.2.2 主要规则	140
3.2.3 应急能力和舱的位置	140
3.2.4 货物围护系统的类型	140
3.2.5 建造材料	141
3.2.6 一般的设计特点	141
3.2.7 已有设计	146
附录一 《为安全和经济地运输 LNG 的结构设计标准》摘要	150
附录二 液化气体性质	157

1 液化天然气的海上运输

1.1 LNG 的性质和用途

1.1.1 什么是天然气

天然气是地底油气田中的气体矿物的混合物,含有碳氢化合物和非碳氢化合物气体。世界上大多数油田都含有天然气,但也有许多单独的气田。前一种形式称之为“附带”天然气,后一种称之为“非附带”天然气。和其他所有的化石燃料一样,天然气也是由动植物经过亿万年的作用生成的。

1.1.2 附带天然气

一般有利于形成石油的地质条件也有利于形成天然气。所以在世界上几乎每一个油田中出现,溶解在油田中的气体称之为溶解气体,在已经气饱和的油层之上的气体称之为罩气气体。一般不触动罩气气体以保持油层之上足够的回复压力。溶解气体是从油田中吸出的唯一气体。过去,许多油田已经生产了充足的气体以满足地方能源的需求或重新注入以延长油田的寿命,但是气体仍然过剩。在这种情况下只好将其烧掉。现在,生产者已不再愿意看到这种能源的浪费,兴建了各种工程来利用这些气体。

1.1.3 非附带天然气

非附带天然气独立于油而存在或存在于只有少量油液的油气田中,非附带天然气往往是纯净的,具有较高的热值,世界上大多数的天然气是非附带类型的。

1.1.4 天然气的成份

由碳氢化合物构成的天然气,甲烷是主要成份,占体积的 70~95%,其余为具有较高沸点、较重碳氢化合物的乙烷、丙烷和丁烷。也有少量杂质如:氮、二氧化碳、硫化氢。

甲烷是气体热值的标志,甲烷的含量越高,则热值越大,甲烷的百分数又因气源而异。非附带气体所含甲烷的比例大于附带气体。表 1.1.1 给出一些典型气田的天然气成份。

表 1.1.1

各种天然气的成份

成 份	产 区					
	阿尔及利亚	利比亚	文莱	北海	伊朗	阿拉斯加
甲 烷	86.3	66.8	88.0	85.9	96.3	99.5
乙 烷	7.8	19.4	5.1	8.1	1.2	0.1
丙 烷	3.2	9.1	4.8	2.7	0.4	—
丁 烷	0.6	3.5	1.8	0.9	0.2	—
戊烷及其它	0.1	1.2	0.2	0.3	0.1	—
氮	—	—	0.1	0.5	1.3	0.4
二氧化碳	—	—	—	1.0	—	—

某些最纯气体,如含有 99% 甲烷的阿拉斯加气体,可直接从井头引出就用,而不需要处理。其他纯度较差的气体需经处理,清除较重的碳氢化合物和杂质。丙烷和丁烷可在常温高压下液化,并容易从天然气中分离,然后以液态石油气的形式进入市场。在正常大气压条件下戊烷和其他较重的碳氢化合物是液体,通过简单的处理便可将它们从天然气中清除。含有大量戊烷的气体叫做“湿气”,含有少量较重碳氢化合物的气体叫做“干气”。

1.1.5 LNG 的生产

天然气通过压缩、冷却、膨胀过程被液化。冷却过程是在若干闭式制冷循环中进行的,每一阶段都使用制冷剂逐渐降温。在这低温膨胀过程中,一部分气体被液化,其余被送回再循环。这种液化天然气的方法叫做阶式法,是最常用的办法。

天然气可被液化的最高温度为 -82°C ,这时的压力为 4.5MPa。为了不在大而重的压力容器运输 LNG,一般在大气压力下将 LNG 降温到 -160°C 装运。这是在正常大气条件下天然气的凝结温度。天然气的液化可减少气态容积达 600 倍。

1.1.6 LNG 的性质

LNG 是无色、无味、无毒、透明的液体。燃点较高、燃烧速度相对较低、不腐蚀、比重小于水的 1/2。它的主要成份:甲烷在温度大于 -110°C 时比空气轻(丁烷、丙烷、乙烷在所有温度条件下都比空气重)。

典型的商业 LNG 具有大致如下的性质:

LNG 沸点 大气条件下 $-157\sim-163^{\circ}\text{C}$

纯甲烷沸点 -161.5°C

LNG 的密度 $0.47\sim0.53$

纯甲烷的密度 0.45

LNG 的热值 $25\sim34\text{BTu/cu. m.}$

纯甲烷热值 29BTu/cu. m.

(BTu:英国热量单位。1BTu=1.06kJ)

干气/干空气浓度 0.58~0.67
甲烷/干空气浓度 0.555
爆炸下限(%占空气的体积) 5.3
爆炸上限(%占空气的体积) 14.0
点燃温度 595℃

1.1.7 天然气的用途

1.1.7.1 简介

在世界主要能源消费地区,LNG 做为主要的燃料来源已有三十多年了,天然气与煤、油原子动力等其它燃料源的竞争程度依赖其特殊的应用。它所以能与之竞争是因为热值高、燃料清洁、使用容易、价格便宜。决定气体工程发展的决定性因素是天然气从源到市场的运输。较高的运输费用正在使发展者精确地估算天然气在如下各市场的需求。

1.1.7.2 居民/商业方面

天然气在这一市场被广泛地使用,主要用来加热住宅、办公室、商店、旅馆中的水和房间。需求量是由大量的单个用户组成的,所以消费模式是不规则的,有日、周、季节波动。这一市场的供应是具有峰值的。

在这一市场使用天然气的优点是:清洁、有效、容易调解,与自来水一样,天然气顺管线直接通到各个用户,不需要储存设备。

1.1.7.3 工业方面

在工业方面天然气被用作热源。动力站也使用天然气,主要是因为方便和经济。这方面的需求波动不大,可由大的基地来供应。由于天然气具有清洁燃烧的特性,它可用在玻璃陶器、面包工业而使其超越其它燃料。

1.1.7.4 石油化工方面

使用氨、甲醇、乙炔作为基本化学原料的石油化学工业是天然气的第三个重要市场。在这里天然气被用作生产化肥、塑料、胶粘剂的原料。这种类型的市场也没有周期性的波动,并为气体基地提供理想的基础和输出。如果天然气可用管线直接从源送到化工厂去,则天然气在这种工业中就更有竞争性。中东石油化学工业的迅速发展为这种利用天然气的方式提供了一个典范。

因为天然气中的甲烷比其它碳氢化合物含氢比例大,所以天然气可作为良好的化学原料。氨是化肥、树脂等生产的重要基础。

1.1.7.5 车辆和空中燃料

这是一个潜在的市场,这个市场被认为具有很大的潜力,并被环境专家赞赏为一种无污染,高性能的燃气发动机。在过去几十年里,法国人已经制造出一些试验车。这种机器可在较高的压缩比条件下工作而不需要添加剂。虽然许多研究报告表明每天低至1%的蒸发损失的LNG 储存柜已经完成,但仍还有许多问题需要解决。但是石油公司反对大规模地发展这种市场。

1.2 海上天然气运输的起源与发展

1.2.1 起源

刺激发展天然气海上运输的因素是多方面的。首先是允许油田白白烧掉附带天然气所引起的反应。早在四十年代末五十年代初,人们便开始寻求有效利用这些被浪费掉的气体的方法,但均没有成功,主要是因为当时在技术上并不具备条件,然而如将燃烧气体搜集起来后再运往消费地区,以有竞争力的价格出售,会取得相当可观的收入,这一事实商业上具有很大的诱惑力。

当时美国是唯一真正的在主要油/气生产地和消费者之间设有输配管线的国家,那里建成了液态天然气储存设施,并以不断增加的价格向消费者出售。在欧洲,尤其是英国,因那时英国本国没有石油资源。所以国有化气体工业的生产能力已不能满足工业发展和居民生活所用气体的需要。

第一个提出天然气液化和运输的实际家是芝加哥联合畜场主席威廉·伍德先生,他相信气体能使用当时掌握的技术液化、储存在陆地上的罐中,然后用驳船将其从路易斯安娜州运往芝加哥,在芝加哥再将液体气化。

第二年,即1952年,伍德先生对上述构想进行了投资,他委托了一位公认的在冷藏领域中有经验和才能的顾问工程师茂瑞松先生组成一个小组对这一计划进行紧张的可行性研究,他们的任务是制定一项广泛的计划,据此,提出一种生产投资少,营运费用低,在生产各个阶段都能保护安全的设计。

实际上,早在1915年5月高德夫·艾路·凯波特就公布了一项“内河驳船液化气体装卸和运输”的专利,事实上凯波特早已预先考虑到了现代气体船的许多基本特性,遗憾的是,没有人建造过这种船舶。

在欧洲,一直到茂瑞松的活动报告发展之后的三四个月才开始有所行动,在挪威,欧文·芳伦兹博士发展了17 000吨货容量的球形设计,并取得了挪威DNV船级社的承认。在联合王国,1954年和1955年,造船工程师博耐斯·考莱特开始设计一种14 000吨筒柱型舱的甲烷运输船,设计最后由登尼斯通·波尼先生完成,他是当时英国著名的发明家。

1955年,贝壳组织在伦敦、海牙、阿姆斯特丹发起了一项LNG船的研究计划,在伦敦航运部负责全船的设计,阿姆斯特丹的试验室负责寻找合适的材料。但是,当他们的努力开始取得进展不久便又在1956年停止了。部分原因是由于苏伊士战争的爆发,使得辅助性的研究工作无法进行。

整个这一时期,大英气体委员会由北泰晤士气体管理局的高级工程技术人员协助。与所有甲烷船的设计者保持着密切的联系,对欧洲各种设计进行详细的分析研究,并在1954年8月访问了美国的茂瑞松,进行实地考察。

在阿尔及利亚发现了大量的非附带气体资源之后,1954年,法国油气公司开始进行进口气体的可行性研究。1956年向政府提出了一份完整而详细的报告。政府反复研究之后,赞成使用船舶运输的方法,并授权软虫组织进行详尽的工程研究。

这样,五十年代,在大西洋两岸分别进行广泛的研究和发展工作,美国遥遥领先,但是在这期间,有关 LNG 技术的可靠资料几乎没有,因为存在着利害关系,各方都在保守秘密。

1.2.2 解决办法的最初尝试

威拉德·茂瑞松的主要工作内容是检验密西西比一些油井中的气体,以及用驳船运输这些气体到芝加哥的可行性。

驳船运输是一个新的问题。因为船上不容易使用常规的陆用储存设备,所以船用储存设备材料便成为主要的问题。茂瑞松成员开始对所有能在 -165°C (甲烷沸点)安全工作的材料进行调查,这些材料可简单地分为二类。

(1)建造材料——液货舱、管系和设备。

(2)绝热材料——承荷和非承荷两种。

不锈钢、铝、铝青铜、黄铜和某些贵金属如银属于第一类。对于钢可用增加镍含量的办法来提高低温韧性。不锈钢已在低温工业中被广泛使用。五十年代中期最新发展的 9% 的镍钢只用在陆上。没有船用经验,对脆性破坏一窍不通。而在大型结构中没有使用铝的经验,而且焊接也是一个难题。所以设计师只敢使用不锈钢。

绝热材料也只能选择以木材做为承荷材料的玻璃纤维等。绝热舱的布置,可采用以下两种办法:

(1)用可在 LNG 温度下工作的材料建造液舱,外面敷以足够的绝热层来保护船舶构件,并减少货物的蒸发。

(2)用无特别的低温特性的材料建造液舱。内部敷设绝热层,用来隔离舱材料和货物。

无论采用以上两种办法中的哪一种都应防止应力集中,这就导致筒柱形和球形舱的出现。在设计上两种办法都应解决一些特殊问题,办法(1)要求液舱能自由伸缩,同时能安全地坐落在驳船之上,如果舱外设绝热层,则它必须能承受一定的载荷,办法(2)则应使绝热层在船舶全部使用寿命期间保持液密。

因为不使用低温材料可节省建造费用,又考虑到低温材料的焊接技术不过关,经过反复比较,最后茂瑞松决定采用(2)种解决办法,用木材做内绝热材料。优点是容易购货,使用当时的加工技术可按合理的公差装配,但哪一种木材比较合适是不知道的。所以委托美国农业部的森林产品试验室对冷杉、云杉、巴尔沙三种木材进行系列试验,以获得这三种用途广泛的木材的低温特性。从 1952 年 2 月的报告中,可以得出以下的结论。

(1)各木种在 -300°F 温度下弯曲和压缩强度增加 40~400%。

(2)韧性增加 100%。

(3)从 $+80^{\circ}\text{F}$ 到 -300°F 的线性热膨胀系数与已知值相符合。

其中巴尔沙木试样的密度为 4.5 磅/立方英尺。

结果是令人鼓舞的,巴尔沙木生长快,资源丰富,生产地区在厄瓜多尔。一年之内在密西西比的英格拉斯船厂建造了第一条试验船。设有五个竖向柱形舱,内部用巴尔沙木作绝热层,并设有双重船壳。

1953 年 3 月,茂瑞松组织给 ABS 写信要求取得第一条 LNG 船的船级,信中说:“该液态甲烷货驳用来在内河运输表压力 0~最大 6 英寸的水柱的液态甲烷或沼气。液舱内甲烷的液