

液化天然气

运行和操作

顾安忠 主编



液化天然气运行和操作

主编 顾安忠

参编 杨晓东 陈文煜 马景柱 顾建明

主审 顾建明



机械工业出版社

地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 88381000
网址：<http://www.cmp.com.cn>
编辑部：(010) 88382594
发行部：(010) 88382549
零售部：(010) 88382549

http://www.cmp.com.cn

本书是为适应液化天然气产业链中主要组成环节,即液化天然气工厂、液化天然气接收站、液化天然气车辆加注站运行操作的需要而编写的。内容全面丰富、深入具体,并提供了工程案例,是一本实用性很强的书籍。本书主要涵盖了天然气液化工厂、液化天然气接收站和液化天然气车辆加注站的运行管理、调试操作及工程实例。

本书可供能源领域,尤其是液化天然气专业的工程技术人员和操作管理人员阅读使用,也可供大专院校相关师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

液化天然气运行和操作/顾安忠主编. —北京:
机械工业出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-111-47031-1

I. ①液… II. ①顾… III. ①液化天然气
IV. ①TE64

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第125557号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红

版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧

封面设计:陈沛 责任印制:刘岚

北京京丰印刷厂印刷

2015年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·15.25印张·310千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-47031-1

ISBN 978-7-89405-587-3(光盘)

定价:49.00元(含1DVD)



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

天然气作为化石能源中最清洁的燃料，越来越受到人们的青睐。目前，“向天然气转型”已经是世界性的潮流，且天然气在一次能源消费中的比例迅速增加。液化天然气（简称 LNG）是天然气开发利用的一项关键技术，在国民经济的发展中越来越显示出其十分诱人的应用价值。液化天然气产业链，包含液化厂、接收站、气化站、车辆加注站和天然气应急储备站等，近些年来在国内得到了迅速的发展。至今我国已建成天然气液化工厂约 70 座，大型 LNG 接收站 8 座，液化天然气车辆加注站 4000 多套。据预测，在今后的 20 年中，这些与液化天然气有关的设施和装置还会有持续的增加和发展。为满足 LNG 相关设计、施工、生产和研究的需要，2004 年和 2010 年由机械工业出版社分别出版了《液化天然气技术》和《液化天然气技术手册》两部著作，并得到了业界和社会上的广泛欢迎。在液化天然气产业进入新发展阶段之际，编写《液化天然气运行和操作》也是适时和必要的了。

在 LNG 产业发展的工程实践中，涌现了一批具有丰富经验的专业人才。本书主编邀请了几位佼佼者参加本书的编写工作。其中，杨晓东博士，参与了多个 LNG 液化工厂工程项目的现场安装、调试、试车和运行，并作为首席工艺工程师；陈文煜高级工程师，参与了多项具有标志性的 LNG 大型项目，并担任技术、管理和运行经理；马景柱高级工程师，负责并主持了多个 LNG 车辆加注站项目，并担任技术、建设和运行经理。他们分别承担了液化天然气工厂、液化天然气接收站、液化天然气车辆加注站等章节的编写工作。顾建明教授对全书进行了审校。

本书在编写过程中，得到了业内许多企业的领导、专家和工程技术人员的关心和支持，尤其是成都深冷液化设备有限公司给予了大力支持和帮助，在此深表感谢。

主编

2014. 4

目 录

前言

第 1 章 液化天然气典型设施	1
1.1 液化天然气工厂	1
1.2 液化天然气接收站	11
1.3 液化天然气车辆加注站	22
第 2 章 液化天然气工厂操作运行	27
2.1 LNG 工厂脱酸装置除瓶颈操作的理论及实例分析	27
2.2 LNG 工厂吸附法天然气预处理的理论及实践	48
2.3 LNG 工厂液化单元的操作理论及实践	69
2.4 LNG 工厂液化天然气储罐预冷的热力计算及操作实践	77
2.5 LNG 工厂关键控制回路优化的原理及应用实例	87
第 3 章 液化天然气接收站	101
3.1 工艺流程	101
3.2 卸料过程操作	104
3.3 储存系统操作	106
3.4 LNG 液体输送系统操作	112
3.5 再气化和外输过程操作	115
3.6 辅助系统	117
3.7 典型案例	121
第 4 章 液化天然气车辆加注站	180
4.1 LNG 车辆加注产业发展综述	180
4.2 LNG 车辆加注站技术规范	189
4.3 LNG 加注站工艺流程和主要设备	199
4.4 LNG 加注站的操作与维护	204
4.5 防火与安全	210
4.6 典型案例	212
第 5 章 健康、安全和环保 (HSE)	230
附录	235
附录 A 缩写词	235
附录 B 典型液化天然气接收站的管线仪表图	236
附录 C 材料安全数据表目录	236
参考文献	237

第 1 章 液化天然气典型设施

1.1 液化天然气工厂

液化天然气（简称 LNG）工厂主要包括四个部分：天然气处理设施、液化设施、LNG 储罐、公用工程和辅助设施。对于非内陆的液化天然气工厂，还包括港口和 LNG 外输码头、蒸气处理系统和其他辅助系统。工厂的功能就是天然气处理、液化和通过 LNG 船将 LNG 外运。

天然气处理设施包含原料气计量、脱酸性气体、脱水及脱硫醇、脱汞、硫回收、液化石油气脱硫单元。液化设施包含液化、制冷、分馏、脱氮、制冷剂储存单元。LNG 储罐、公用工程和辅助设施包含蒸气及凝液系统、燃料气系统、新鲜水系统、压缩空气系统、氮气系统、海水系统、液化天然气输送、储存和装载装置、凝析油输送装置、火炬系统、消防系统、硫黄固化、储运和装载装置、污水处理系统、液化石油气输送、储运和装载装置、海水提取、栈桥及其他设施。当然因为具体工艺流程的差异，具体的处理设施可能不同。具体设施在后面的章节中将有详细介绍。下面就液化天然气工厂的三类重要设施作具体说明。

1.1.1 吸收塔

天然气液化前的净化工艺包括脱硫、脱碳、脱水、脱汞等。在以 MEA 等醇胺吸收原料天然气中的 CO_2 、 H_2S 的工艺中，吸收塔是一个很重要的设备。吸收塔通常有两种：填料吸收塔与板式吸收塔。

1. 填料吸收塔

利用塔内填料，以增加吸收剂（MDEA）与原料气接触面积，通过气液接触进行的一种气液交换设备。

填料塔由塔体、填料、塔内件及筒体构成（图 1-1）。填料塔塔体是一个立式圆筒，填料分规整填料和散装填料两大类。吸收塔的吸收效果取决于所使用的填料的形式、材料等。塔内构件

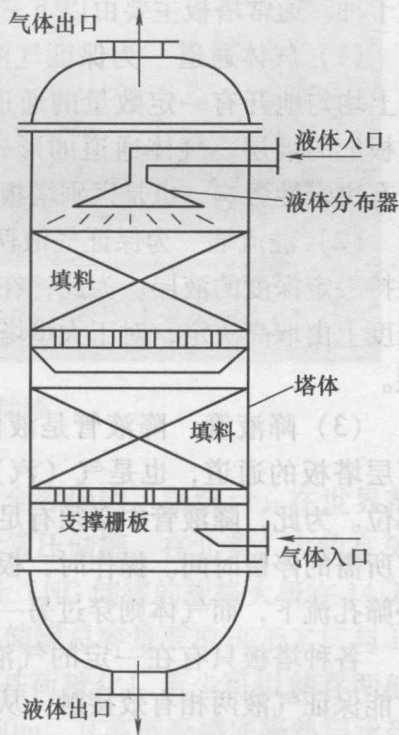


图 1-1 填料吸收塔示意图

有不同形式的液体分布装置、填料固定装置或填料压紧装置、填料支承装置、液体收集再分布装置及气体分布装置等。

吸收剂 (MDEA) 从塔顶进入, 经液体分布器喷洒在填料上, 并沿填料表面流下。原料气由塔底送入, 与吸收剂逆向交叉流过填料层空隙, 在填料层表面气液两相密切接触后发生质交换, 带走原料气中的酸性气体。

2. 板式吸收塔

板式吸收塔由圆筒形塔体和按一定间距水平装置在塔内的若干塔板组成 (图 1-2), 工业上广泛应用于精馏和吸收过程。在天然气预处理中主要用于吸收原料气中的酸性气体。

板式塔工作时, 吸收剂 (MDEA) 在重力作用下, 自上而下依次流过各层塔板, 至塔底排出; 原料气在压力差推动下, 自下而上依次穿过各层塔板, 至塔顶排出。每块塔板上保持着一定深度的液层, 气体通过塔板分散到液层中去, 进行相际接触传质。

塔板, 又称塔盘, 是板式塔中气液两相接触传质的部位, 决定塔的操作性能。为满足吸收或分离操作所提出的各种要求, 新型塔板不断出现, 已有数十种。通常塔板主要由以下三部分组成:

(1) 气体通道 为保证气液两相充分接触, 塔板上均匀地开有一定数量的通道供气体自下而上穿过板上的液层。气体通道的形式很多, 它对塔板性能有决定性影响, 也是区别塔板类型的主要标志。

(2) 溢流堰 为保证气液两相在塔板上形成足够的相际传质表面, 塔板上须保持一定深度的液层。为此, 在塔板的出口端设置溢流堰。塔板上液层高度在很大程度上由堰高决定, 对于大型塔板, 为保证液流均布, 还在塔板的进口端设置进口堰。

(3) 降液管 降液管是液体自上层塔板流至下层塔板的通道, 也是气 (汽) 体与液体分离的部位。为此, 降液管中必须有足够的空间, 让液体有所需的停留时间。操作时, 板上液体随机地经某些筛孔流下, 而气体则穿过另一些筛孔上升。

各种塔板只有在一定的气液流量范围内操作, 才能保证气液两相有效接触, 从而得到较好的传质效果。塔板正常操作时气液流量的范围, 可用塔板负荷性能图 (图 1-3) 来表示。图中的几条边线所



图 1-2 板式吸收塔内部结构

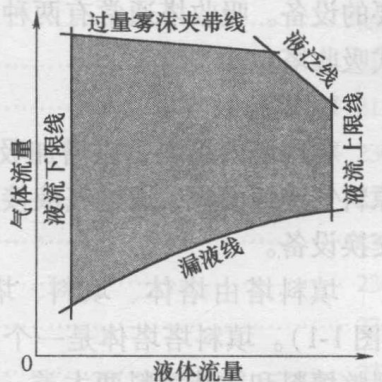


图 1-3 塔板负荷性能

表示的气液流量限度为：①漏液线。气体流量低于此限时，液体经开孔大量泄漏。②过量雾沫夹带线。气体流量高于此限时，雾沫夹带量超过允许值，会使板效率显著下降。③液流下限线。若液体流量过小，则溢流堰上的液层高度不足，会影响液流的均匀分布，致使板效率降低。④液流上限线。液体流量太大时，液体在降液管内停留时间过短，液相夹带的气泡来不及分离，会造成气相返混，板效率降低。⑤液泛线。气液流量超过此线时，引起降液管液泛，使塔的正常操作受到破坏。

如果塔板的正常操作范围大，对气液负荷变化的适应性好，就称这些塔板的操作弹性大。

1.1.2 LNG 储罐

天然气被液化及可能的终闪脱氮之后，在装运到 LNG 船之前，LNG 产品被送入储罐。LNG 通常被储存在接近大气压的大型保温储罐中（图 1-4）。

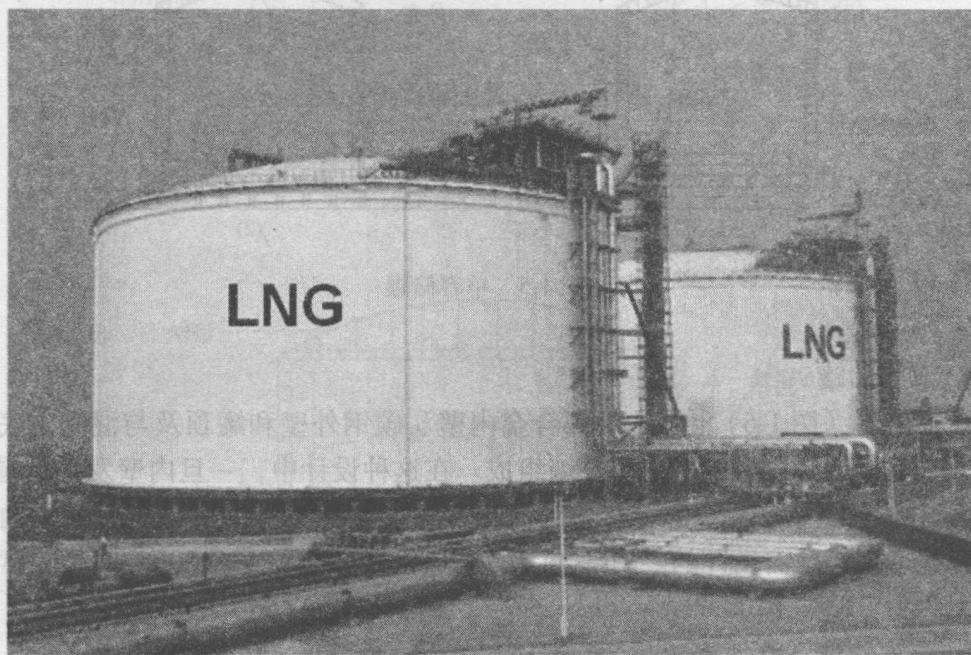


图 1-4 LNG 大型保温储罐

最常见的储罐类型是单容储罐、双容储罐和全容储罐。据统计，在世界范围内，有大约 60% 的 LNG 储存采用传统的双金属壁常压储罐。在北美，大约有 94% 的 LNG 储罐属传统的双壁金属储罐（单容）。地上 LNG 储罐的规格大概在 14 万 ~ 18 万 m^3 ，地下储罐可达 20 万 m^3 。基荷液化厂的储罐总容量要取决于工厂与 LNG 进口接收站之间的航运情况。通常情况下，一个基荷液化厂至少可以储存两船的 LNG。LNG 储罐通常直径为 60 ~ 90m，高为 40 ~ 50m。其高度受罐底隔热层承受压力限制，通过测试静态压力确定，而直径则受到储罐镍钢内壁底板焊接的限制。储

罐壁厚与储罐直径成正比，但壁厚过大会造成焊接问题。大多数储罐的操作压力都不超过 25kPa (250mbar)。下面是每种类型的 LNG 储罐概要说明。

1. 单容储罐

单容储罐 (图 1-5) 是由内外双壁构成的钢罐，按设计只有内壁可容纳 LNG，外壁为碳钢，用于容纳热蒸气、托住绝热材料、支撑钢顶并抵抗风和正常的外部载荷。因设计只按内罐容纳低温液体考虑，要求有围堰，一旦内壁破裂，围堰外墙必须能够容纳满罐的液体。这种类型的储罐使用了钢制圆顶和绝热悬板，内部压力设计接近大气压。一般内部压力设计最高限度为 15kPa (150mbar)，正常设计压力为大约 10kPa (100mbar)。单容类型的储罐或建在加热板上，或建在垫高的桩板上。

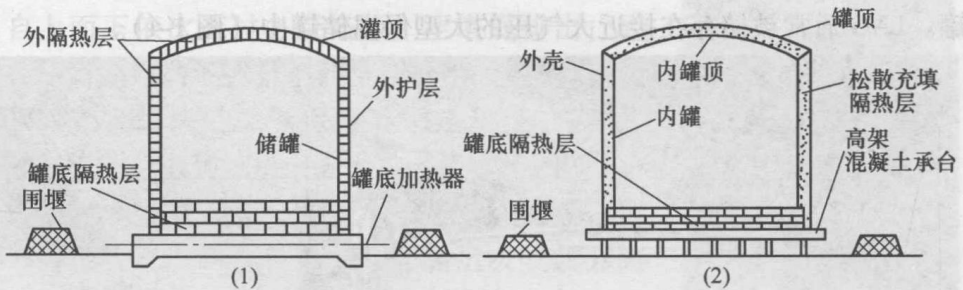


图 1-5 单容储罐

2. 双容储罐

双容储罐 (图 1-6) 由 9% 的镍合金内壁、碳钢外壁和罐顶及与混凝土底板连接成一个整体的后应力混凝土防护墙组成。在这种设计中，一旦内壁发生泄漏，混凝土墙可以容纳所有的 LNG。与单容储罐一样，这种类型的储罐也是基于内部设计压力接近大气压而设计的。内部压力的最高限度为 15kPa (150mbar)，正常设计压力大约为 10kPa (100mbar)。

3. 全容储罐

全容储罐 (图 1-7) 由 9% 镍钢内壁、预应力混凝土外壁、钢筋混凝土顶及底板组成。目前设计和建造全容储罐通常是执行英国 BS7777 标准。美国 API620 标准对设计和建造混凝土 (外) 储罐没有具体的条款规定，而 BS7777 有相关规定并且特别对该类型的储罐进行了说明。这种设计的内部压力最高限度为 29kPa (290mbar)，正常操作压力为 25kPa (250mbar)。全容储罐不要求有围堰，因为如果内罐发生泄漏，外罐可以容纳液体和蒸气。

4. 膜式储罐

膜式储罐包含混凝土外壁和内部的不锈钢膜。这种膜自身无法直立，靠混凝土外墙和内膜之间的绝热板进行支撑。

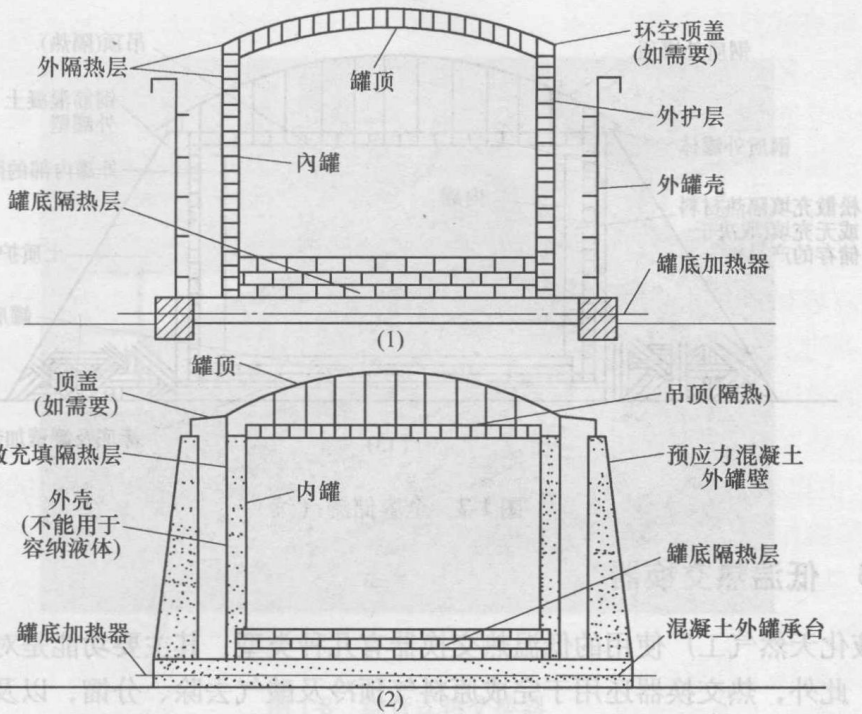


图 1-6 双容储罐

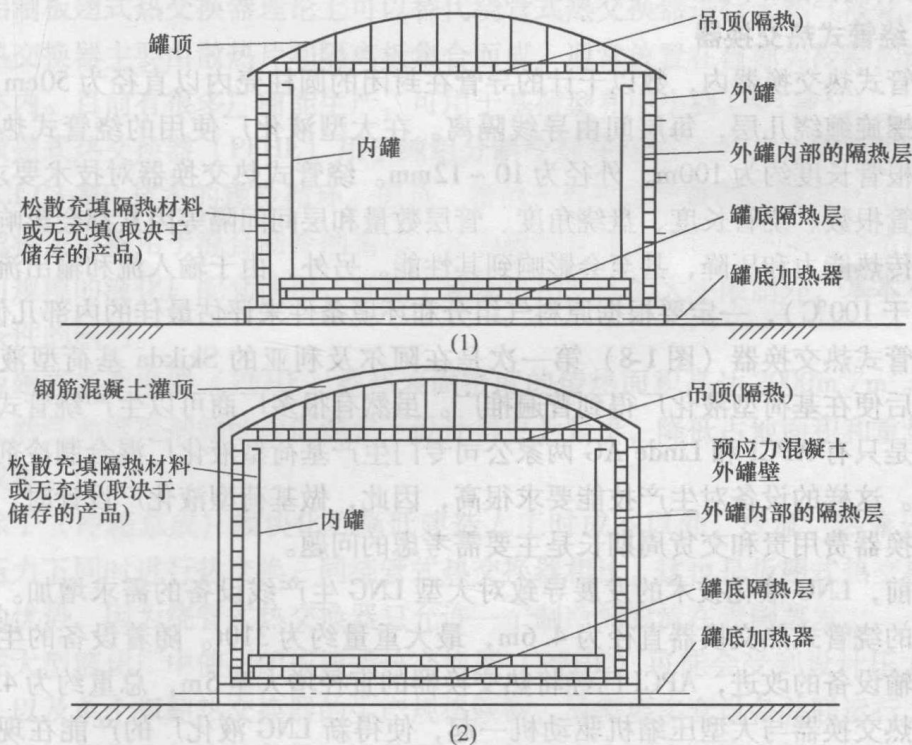


图 1-7 全容储罐

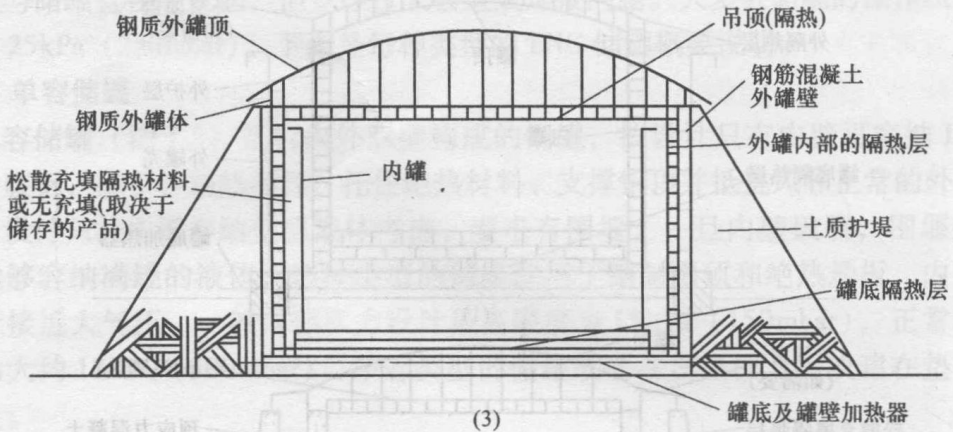


图 1-7 全容储罐 (续)

1.1.3 低温热交换器

液化天然气工厂使用的低温热交换器有几种类型，其主要功能是对天然气进行液化；此外，热交换器还用于完成原料气预冷及酸气去除、分馏，以及公共设施等不同用途的冷却任务。

最常用的热交换器类型有绕管式热交换器、铝制板翅式热交换器和管壳式热交换器。具体介绍如下。

1. 绕管式热交换器

绕管式热交换器内，数以千计的导管在封闭的圆柱壳内以直径为 50cm 的芯管为圆心螺旋缠绕几层，每层间由导线隔离。在大型液化厂使用的绕管式热交换器中，每根管长度约为 100m，外径为 10~12mm。绕管式热交换器对技术要求很高，因为绕管根数、绕管长度、盘绕角度、管层数量和层间间隔等因素都会影响到热交换器的传热能力和压降，甚至会影响到其性能。另外，由于输入流和输出流温差较大（大于 100℃），一定要根据原料气组分和环境条件来评估最佳的内部几何结构。

绕管式热交换器（图 1-8）第一次是在阿尔及利亚的 Skikda 基荷型液化厂运用，此后便在基荷型液化厂得到普遍推广。虽然有很多厂商可以生产绕管式热交换器，但是只有 APCI 和 Linde AG 两家公司专门生产基荷型液化厂混合制冷剂循环热交换器。这样的设备对生产技能要求很高，因此，做基荷型液化厂设计时，这种类型热交换器费用贵和交货周期长是主要需考虑的问题。

目前，LNG 液化技术的发展导致对大型 LNG 生产线设备的需求增加。以前最大规模的绕管式热交换器直径为 4.6m，最大重量约为 310t。随着设备的生产及船运、运输设备的改进，APCI 已经将热交换器的直径增大至 5m，总重约为 430t。这些大型热交换器与大型压缩机驱动机一起，使得新 LNG 液化厂的产能在现有设备能力的基础上更上一层楼。

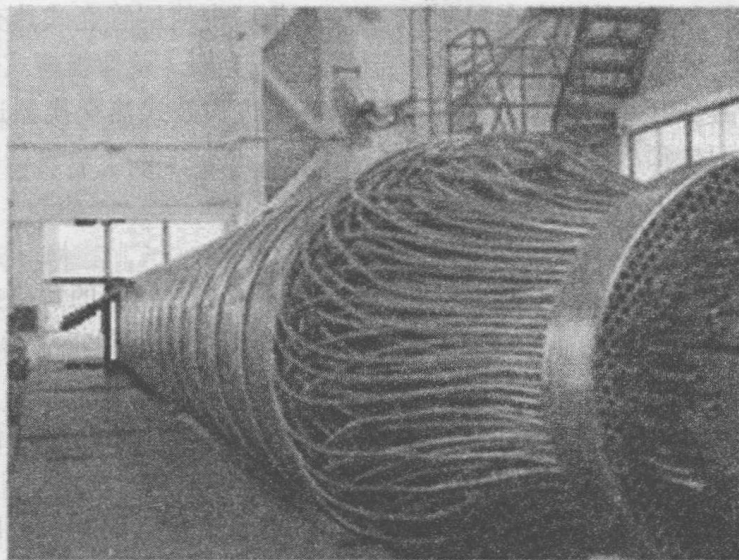


图 1-8 绕管式热交换器

2. 板翅式热交换器

铝制板翅式热交换器理论上可以替代绕管式热交换器进行天然气液化。铝制板翅式热交换器主要由散热片和隔离板集合而成，通常放置在被称为冷箱的绝热良好的箱体内。目前有很多厂商能生产，可用于基荷型和中小型 LNG 液化厂。

板翅式热交换器 (PFHE) 用于纯组分制冷剂冷却循环中，如康菲的液化技术和 APCI C3-MR 技术的预冷循环。但是，新的天然气工艺设计，如 Liquefin TM，正在考虑将该设备用于混合制冷剂循环。因为板翅式热交换器的模块化建造使其可以为任何规模的液化厂配套使用，且除了现场可用空间的大小限制外，基本不受任何规模条件的制约。

板翅式热交换器 (PFHE) 换热表面密度的传热面积高达 $2000\text{m}^2/\text{m}^3$ 。这就能够在天然气和制冷剂间的较低温差下设计得更为紧凑，降低占地面积和重量，从而减少成本。

除了 (冷箱总成) 模块化可降低建造人工时成本以外，冷流、热流还可以在不同压力下同时进行热交换。同绕管式热交换器相比，这也是板翅式热交换器一项很大的优势，因为绕管式热交换器只允许一个制冷剂股流在壳侧蒸发。

在大型液化厂中使用的板翅式热交换器 (PFHE) 可能会受到设计压力的封顶限制，以及单个板翅热交换器的生产规格限制，故需要多套设备并联运行，这就要增加管线、阀门和仪表的数量，以及更大占地面积和更多的资金投入。此外，板翅式热交换器对污垢和阻塞非常敏感，必须安装过滤网和过滤器。

3. 管壳式热交换器

壳压、直径和管长等因素会限制在 LNG 液化厂中使用管壳式热交换器的规模和能效,但这些限制可以通过并联多个壳体系统来克服。就像板式热交换器的情况一样,这就需要更多的管线和控制系统。管壳式和鼓式热交换器通常在基荷型 LNG 液化厂的丙烷预冷回路中使用。

热交换器对 LNG 产量的潜在影响如下:

(1) 板式热交换器

1) 单相和两相流的分配不均导致热能效降低。这一问题的解决办法是,可设定足够裕量以包容液流分配不均问题,也可以通过安装分离器将液态和气态分离后分别注入热交换器。

2) 由机械故障和腐蚀引起的泄漏。要缓解这一问题,可以通过试验来呈现金属疲劳和操作不当造成的不稳定情况来研究对策。

3) 热应力会导致管头箱和喷头接口断裂。要解决这一问题,可以通过把股流之间的温差调节到 40°C 以内,降温速度为 $3\sim 4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的情况下,用动态模拟系统来评估瞬态运行参数。

(2) 绕管式热交换器

1) 由于出口喷嘴气体喷出速度过快而使导管振动引发金属摩擦。要解决这一问题,可以通过改进输出喷嘴以减缓天然气速度。

2) 注入流的冲击能量过大导致入口分流板受损。要解决这一问题,可以通过将导管加固以改变其振荡频率。但是,如果这样导致管束下垂的话则会使情况更糟。

3) 关停和起动造成制冷剂冷凝管泄漏。要解决这一问题可以通过增加入口喷嘴的尺寸来降低气体速度和封堵受损导管。在系统设计时也可考虑导管裕量以解决此问题,以便一定比例导管封堵后还能够保持全产能生产。

1.1.4 压缩机驱动器

在液化天然气工业早期,大多数基荷型 LNG 液化厂设计都使用蒸汽轮机驱动制冷压缩机,而近些年建设的基荷型 LNG 液化厂设计都使用了工业燃气轮机驱动。轮机是旋转机器,通过燃烧产生高压气流(代替蒸汽)转动发动机,以轴功率、推力等形式得到动力。发生如此更新换代的原因之一就是去掉蒸汽发生设备和锅炉给水处理设备以减少开支。另外,工业燃气轮机被广泛用于发电也是由于其在基荷型 LNG 液化厂的可靠性已得到了充分改善。

由于 LNG 液化厂需要经济地开采孤立分散天然气藏,通常优先考虑使用天然气驱动压缩机,但由于天然气的价值不断上升,现在情况已开始转变。在目前的发展中,我们可以看到燃料效率更高的航空涡轮发动机改型的涡轮机和各种电动机都已被用于基荷型 LNG 液化厂。由于受设备能力及可靠性的限制,基荷型 LNG 液化

厂通常都建设多条生产线。然而,最近一段时期技术的发展开始转向增大主要设备能力方面,例如燃气涡轮压缩驱动机,开始关注大型原动机配置对 LNG 生产线成本和可靠性产生的影响。需要注意的是,燃气涡轮机的型号规格是一定的(如 Frame 5、Frame 6、Frame 7、Frame 9),因此制冷循环的设计必须按照可用的燃气涡轮机功率进行设计,而不能根据制冷循环确定涡轮机规格。涡轮机的排号大,其功率也就大。

1. 燃气涡轮机

燃气涡轮机按结构有两种:单轴涡轮和双轴涡轮。

1) 单轴燃气涡轮机比双轴燃气涡轮机功率大,因为它们匀速旋转系统惯性好而增加了系统的可靠性和效率,通常用于发电。使用大型涡轮机可减少液化生产线使用的驱动机台数,因而可以减少资金投入。一台大型涡轮机可以驱动液化流程中串联排列在单轴上的多台压缩机。由于单轴涡轮启动时需要的动力较大,需要启动马达(通常也被称为启动/辅助电动机)来启动,在正常运行时可辅助涡轮做功。

2) 双轴燃气涡轮机近年来在液化生产线上被广泛安装使用。常被选用的压缩驱动机为双轴工业燃气涡轮机(Frame 5,近年来更多地使用 Frame 7 和 Frame 9),因为涡轮驱动制冷压缩机的动力速度可分开控制,不同于驱动发电机的速度控制。这样在面对工艺不同变化情况时就具备了灵活性。

可获得的燃气涡轮机的型号功率是一定的,因而制冷剂循环必须根据可选燃气涡轮机的功率进行设计。从本质上讲,LNG 液化厂的产能受驱动机的型号和机器配置限制。

卡塔尔 LNG 项目是 LNG 行业有史以来建设的单线能力最大的。第一条生产线采用了 APCI 最新的 APXTM 技术,用三台 Frame 9 燃气涡轮机驱动单线,年产量达 780 万 t。虽然 Frame 9 已在发电工业得到广泛使用,但在基荷型 LNG 液化厂中使用还是第一次。

2. 航改型燃气涡轮机

航改型燃气涡轮机,即由飞机喷气发动机改进的重量较轻的航空涡轮发动机,第一次在 2006 年初投入商业运营的澳大利亚 Darwin 基荷型 LNG 液化厂中被采用。

与传统的大功率燃气涡轮机(比如 Frame 7 和 Frame 9)相比,航改型涡轮机有如下优点:有较高的热效率及燃料效率;单位功率的 NO_x 和 CO_2 排放较低;模块机组交换可提高液化厂整体上线率,因为传统大功率燃气涡轮发电机组更换通常需要 14 天或更长,而航改型涡轮发电机组更换在 48h 之内就能结束;可以不借助大型辅助电动机启动;重量比 Frame 7 和 Frame 9 轻、占地面积比 Frame 7 和 Frame 9 小。

尽管航改型涡轮机有以上优点,但因为其没有双轴型燃气涡轮机,在基荷型 LNG 液化厂中仍未广泛推广,且这种发动机需要较高的燃料压力,以及需要额外配备燃料气压缩装置,从而增加了资金投入和操作费用。

热效率的提高减少了液化厂对燃料的需求,增加了整体液化厂热效率并减少了温室气体的排放。燃气轮机逐步取代了蒸汽轮机,是因为燃气轮机中不需要蒸汽发生和锅炉给水处理设备,因而大大减少了资金投入。但由于天然气价格不断攀升,因此,减少 LNG 生产的燃料消耗的益处是显而易见的。在这种情况下,高效航改型涡轮机和所有电动机都有可能产生更大效益。

3. 电动机

近来, LNG 工业热衷于使用电动机来驱动制冷压缩机,原因是 LNG 工业需要增大生产线规模、降低燃料气消耗以提高 LNG 产量和降低温室气体排放量。电动机被广泛地用做燃气涡轮的起动机和辅助机,而世界上第一个“全电动”的 LNG 工厂现已在挪威建好并投产。

将电力驱动机应用到基荷型 LNG 厂也可填补因燃气涡轮不同型号间某些设备尺寸的设计缺口。通常电动机利用率较高,因为它需要的维护频率低、故障少,这就提升了整机的可靠性和工艺安全性,并降低了运营成本。选择电动机驱动还可提高工厂整体上线率,其他好处包括厂家多、竞争激烈,交货周期短。

4. 压缩驱动机的可获得性问题

以下列举的是一些与采用电动机驱动或燃气涡轮机驱动的压缩机设备可获得性相关的要点。

(1) 与燃气轮机相关的可获得性

- 1) 可以平行安装更小的成熟设备,通过提高设备可获得性来弥补增加的成本。
- 2) 使用平行压缩驱动机组合方式,压缩机脱机时将不会关停整条生产线,且系统重启时不损失制冷剂。
- 3) 双轴涡轮的速度可变性提高工艺控制能力,从而提高了上线率。
- 4) 一些大型机器设备(大于 GE-Frame 5)受到现有型号和交货时间的限制,这可能会耽搁 EPC 工期。
- 5) 选择燃气轮机驱动时,特别是用于扩建项目,常倾向选择熟悉的设计和配置,并将备件标准化,这样能优化和维护程序。
- 6) 液化生产线中使用单组分制冷剂循环的燃气涡轮驱动机的可获得性与使用混合制冷剂循环的液化生产线达到的可获得性大致相当。

(2) 与电动机相关的可获得性

- 1) 可靠的集中供电及较少定期维护提高了生产可获得性。
- 2) 如果液化系统中电动机驱动的电力由按裕量设计($n+1$)的自备发电厂提供($n+1$)是指满负荷运转所需的驱动机数量加上一台备用),涡轮发电机定时下网将不会导致液化厂停车,由此可减少生产损失,同时提高液化厂整体上线率。
- 3) 电动驱动机可变速和动力范围实现了流程最佳化控制,容易在多变条件下调整产量,并提高了设计灵活性。

- 4) 如需要,电动机驱动方式一天可以多次起动。
- 5) 电动机和压缩机的装配和测试时间比燃气涡轮机及压缩机短,因而可以缩短 EPC 工期。
- 6) 设备供应商多而竞争激烈,可以减少供货时间,从而缩短 EPC 工期。
- 7) 电动机驱动会加快工程进度,因为发电厂和液化厂可以分开建设。

1.1.5 制冷压缩机

更大型的压缩机可以降低每条液化生产线所需的机器台数,并且提高 LNG 生产线产能。单台离心压缩机最大可吸入量通常限制在 20 万 m^3/h 之内,大于此量时,轴流压缩机更合适。通常是在单体机器上的低压端安装轴向压缩机,在高压端安装离心压缩机来解决此问题,这样就能实现不同类型压缩机各自的容量和高压性能优势的最大化。

1.2 液化天然气接收站

陆岸液化天然气接收站设施通常包括卸料系统、储存系统、蒸发气 (BOG) 处理、LNG 输送系统、LNG 气化、公用工程和辅助系统。

1.2.1 卸料臂和蒸发气返回臂

卸料臂 (图 1-9) 为悬吊型旋转平衡式海洋卸料臂,共 4 台,其中 3 台液相卸料臂,1 台气相返回臂,其中间的气、液臂可互为转化备用,且均为液压驱动。该设备设有手摇泵和氮气瓶以备紧急情况下使用,还设有手动快速接头 M-QCDC 和 ESD 紧急关断系统。ESD1 动作时,双球阀 DBV 紧急关闭,ESD2 动作时,除了双球阀 DBV 紧急关闭外,紧急脱离系统 ERS 快速脱开。万向旋转接头是卸料臂的关键部分,无需外部润滑,采用自身润滑,为避免泄漏及冻结卡涩,使用三道密封,内部两道防止 LNG 外漏,外部一道防止外部水蒸气内漏冻结,同时使用微正压氮气吹扫密封。臂上有 8 个位置感应器以检测臂的倾角是否正常。

船用卸料臂由四个主要部分组成:升降立柱、船侧臂、岸侧臂、船/臂连接装置。这四个部分通过三个旋转接头组装起来;这种组装能保证卸料臂能够快速准确地通过 3 个液压缸操纵与 LNG 船进行连接。

船/臂的连接是通过手动快速连接头来保证的。另外,为了避免卸料臂的机械损坏和船/臂连接时可能产生的 LNG 溢出,连接部分安装了一个紧急释放系统 (PERC 装置)。这个装置包括两个全通径球阀和一个位于两阀之间的紧急释放连接头。前面对两种等级的紧急状况已经作了说明:一种情况是紧急停车时只需关闭 PERC 阀;另一种情况是除了关闭 PERC 阀还要释放 PERC。

卸料臂被固定连接在码头平台上的 LNG 管道上。这条管线安装有压力和温度

变送器，还有一个止回阀以防止 LNG 回流到船上。这条管线排出 LNG 到卸料总管里。卸料管线被一个紧急切断阀与卸料总管隔离开来。这个紧急切断阀可以在紧急情况或不卸料的时候隔离卸料臂。另外，卸料臂管线在船卸料结束后将在氮气的压力下排空管线里残留的 LNG，因而在它的底部连接着一个小管径排放管线，将 LNG 排到卸料总管中。这条管线的排放将通过 DCS 来执行，其上安装有一个自动阀。为方便排放和吹扫 LNG，在每条臂的顶端内侧还安装着一个氮气吹扫管线，用来在卸料结束后清扫卸料臂，通过 DCS 控制来执行氮气吹扫。

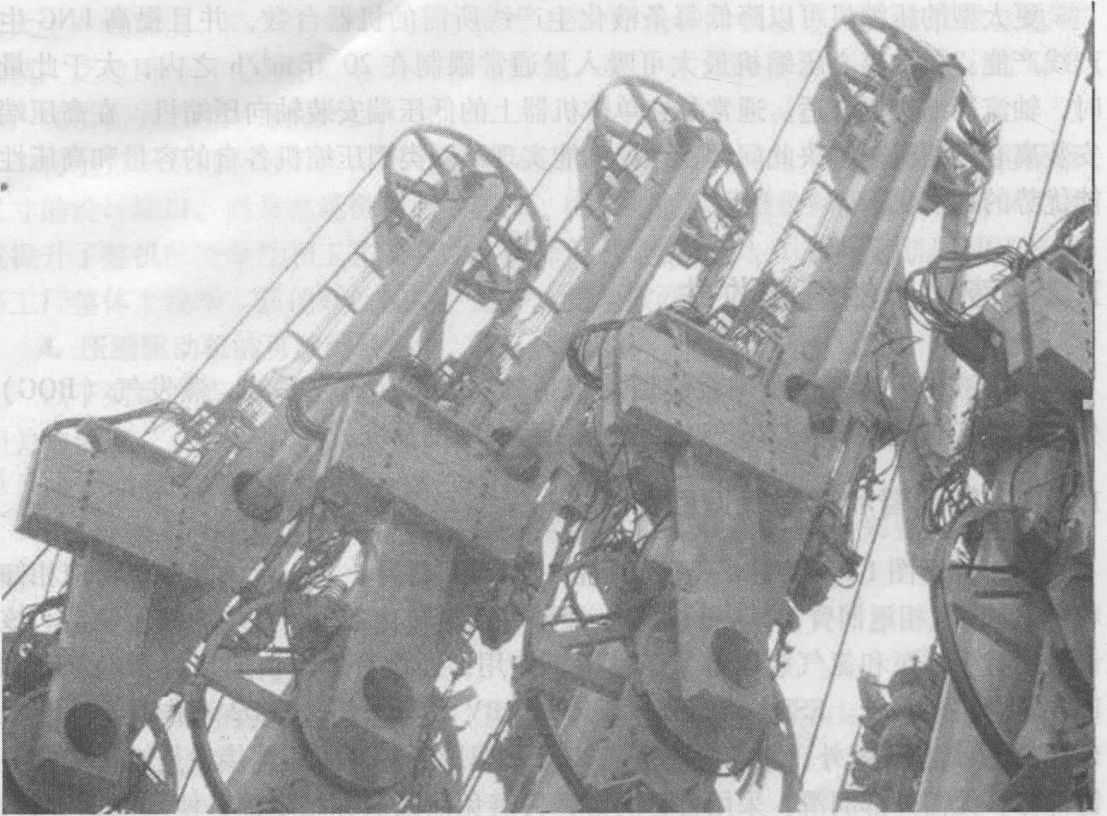


图 1-9 卸料臂

在卸料臂的顶部和旋转处安装有传感器，用以检测任何可能导致卸料臂出现故障和 LNG 泄漏的紧急情况。在恶劣的天气条件或泊锚故障造成船身的漂移时，卸料臂与船连接就可能产生上述的紧急情况。

在任何时候，这三个旋转接头始终用氮气来连续吹扫，以避免当卸料臂在 LNG 环境下时，旋转接头的四周结冰。

吹扫四条臂（LNG 卸料臂和气体返回臂）的氮气压力通过一个调节器控制，来自接收站氮气管网的气体经调节为旋转接头提供 20kPa 的压力。吹扫必须保证在任何情况下都能进行，安装压力传感器用来监测氮气吹扫。

在连接卸料臂前的手动操作是由液压系统控制的。每条臂都有它自己的液压线