

天然气液化化工厂建设可行性研究

陈坤明, 汪玉春, 吴华丽, 康思伟, 张 琨

(西南石油大学, 四川 成都 610500)

摘 要: 建设天然气液化化工厂, 投入的固定成本非常高, 而可变运营成本和单位产品的变动成本相对较低, 总体上分摊费用较高。因此, 在建设液化天然气工厂项目的前期, 必须对其涉及到的相关内容进行可行性研究与分析。可行性研究是项目建设前期工作的重要步骤, 是保证建设项目以最小的投资换取最佳经济效果的科学方法。从液化天然气工厂建设的经济性和工艺技术的可行性入手, 提出了 LNG 工厂建设项目所需要遵循的原则以及考虑的因素, 给出了相关问题的解决思路, 对液化天然气工厂建设的开展具有一定的实际指导意义。

关键词: 液化天然气; 可行性研究; 工艺; 设备

文章编号: 1006-5539(2007)05-0026-04

文献标识码: A

0 前言

天然气产地往往不在工业或人口集中地区, 将天然气液化储存在温度为 112 K 压力为 0.1 MPa 左右的低温储罐内, 其密度为标准状态下甲烷的 600 倍, 体积能量密度为汽油的 72%, 十分有利于输送和储存。目前, 世界上液化天然气 (LNG) 技术已经成为一门新兴的工业而迅猛发展。LNG 技术除了用来解决天然气的储存、运输问题外, 还可用于民用燃气和发电厂燃料的调峰储存^[1]。

国家十分重视 LNG 的开发应用。近十年来, 在大陆兴建了数座液化天然气工厂^[1~3]。20 世纪 90 年代, 中国科学院等单位先后为四川和吉林石化企业建成了两座液化天然气装置, 生产 LNG 能力分别为 0.3 0.5 m³/h 长庆石油勘探局建立了一座示范性液化天然气工厂, 日处理能力为 3×10⁴ m³; 东海天然气早期开发利用, 在上海建了一座日处理能力 10×10⁴ m³ 的液化天然气事故调峰站; 2001 年, 中原石油勘探局为了将天然气资源用于城市燃气和汽车代用燃料, 建造了国内第一座生产型的液化天然气装置, 日处理量为 15×10⁴ m³; 2002 年新疆广汇集团开始建设一座日处理量为 150×10⁴ m³ 的液化

天然气工厂。这些液化天然气厂的建设, 为我国 LNG 技术的研究积累了宝贵的经验。随着 LNG 市场的不断扩大, LNG 缺口日益增大, 而我国西部地区天然气资源丰富, 很多金融集团开始筹划投资在中西部新建一些 LNG 工厂以满足市场对 LNG 的需求。兴建液化天然气工厂是一个大的工程, 前期必须对其进行可行性研究。可行性研究是项目建设前期工作的重要步骤, 是编制设计任务书的依据, 是保证建设项目以最小的投资换取最佳的经济效果的科学方法^[4]。

1 市场研究与 LNG 工厂规模选择^[1, 5]

市场研究是通过必要的市场调查和市场预测手段, 对 LNG 的市场环境、竞争能力和竞争对手进行分析与判断。目前, 我国能源紧缺, LNG 需求市场急速增加, LNG 供不应求, 这就为建设 LNG 工厂项目提供了有利的市场条件。LNG 工厂的建设规模必须考虑目标市场的需求情况, 进行目标市场 LNG 消费预测。通过对目标市场地区的经济水平、能源消费结构、国家能源政策等相关指标进行分析, 建立目标市场的消费预测模型, 对目标市场 LNG 消费量进行预报, 从而确定合理的建设规模。

收稿日期: 2007-03-14

基金项目: 四川省高校重点学科建设资助项目 (SZD0416)

作者简介: 陈坤明 (1982-), 男, 湖南衡阳人, 现在西南石油大学攻读油气储运专业硕士学位。研究方向: 油气管网系统优化运行及管理。电话: (028) 83030544

2 项目的生产建设条件和技术可行性研究

项目的生产建设条件是实施和投产运营的基本物质基础和物资保证,而项目的技术条件是项目投资建设以及正常生产运营的技术保证,决定着项目的成败。

2.1 LNG工厂的设计规则和原则^[6]

设计合理的 LNG工厂,需遵守一些基本的设计规则。首先,所有的设计必须确保 LNG整个工厂和其中的关键设备,如主要的驱动设备、制冷剂压缩机、低温换热器及这些关键设备的控制系统,都要能运行,这是项目运行商、LNG购买商和项目金融家首先需要考虑的问题;此外,所有设计都需采用统一标准,包括项目设计依据、项目规模、详细标准、规范以及工作步骤等。

LNG工厂的设计,要从节省投资,保证质量的基础上确立一定的原则:

2.1.1 生产规模的经济性

LNG工厂的总产量与单线生产规模的增加,都可以减少 LNG工厂的投资。在生产线数目相同的情况下,随着生产规模的扩大,投资费用的增加并不明显,所以增加单线生产规模,可以收到最大的规模效益。另外在总产量一定时,单线生产规模的扩大,可以减少生产线的数目,不仅缩短工厂建设周期,还节省大量设计、采购和建设承包商的费用。

2.1.2 减少设计余量

LNG工业发展早期,由于技术不成熟,设计原则较为保守,设计余量取值较大。随着 LNG技术的发展和人们管理运行经验日趋成熟和丰富,工厂设计的风险系数可以适当减小。

2.1.3 对 EPC承包商引进竞争机制

LNG建设项目中,设计、采购和建设承包策略发挥着重要作用,不同的 EPC承包商针对具体的工程设计展开竞争,将有效缩短项目的建设周期,节省设计工厂费用和提高整个工程的质量。

2.2 气源条件及厂址条件^[16]

气源条件主要分析原料气的组成以及计算其物性参数,它们是选择预处理以及液化流程的基本依据。天然气物性参数可分为热力学性质和迁移性

质。热力学性质包括天然气的密度、压缩因子、比热容、焓、熵等,它是天然气液化流程设计、研究和操作运行中所不可缺少的基础数据。同时,液化流程模拟的准确性在相当大的程度上取决于天然气物性参数的准确性。另外,天然气液化流程中不可避免地存在着流体的流动,不同工质间的传热传质问题,为了更合理有效地发挥各流程设备的作用,需要了解天然气在不同工况下的流动和传热特性,这些特性指的就是天然气的迁移性质,它包括热导率、粘度、扩散系数等,是液化流程中天然气传热和流动阻力计算的关键数据。

LNG工厂厂址的条件主要包括:

2.2.1 厂址的地理位置及其社会情况

厂址的地理位置最好选在靠近有稳定气源的地方,以保证工厂有足够的原料气供应。社会情况需要了解当地的经济发展情况、政府对企业的政策以及人文环境。

2.2.2 安全条件

由于 LNG是易燃易爆产品,因此,厂址的选择应该尽量远离人类生活和商业活动区域。

2.2.3 气象条件

要求从当地气象部门,取得项目所在地的气候条件,包括气温、湿度、气压、降雨等相关气象资料。

2.2.4 工程地质、水文和地震烈度

厂址的工程地质要求:地质构造稳定,地势较为平坦,无山洪、滑坡等不良工程地质,其地应力也要求足够大。水文条件要注意厂址附近的河流以及地下水情况。工程厂址所在区域地震烈度不得大于规范要求。

2.2.5 公用工程条件

公用工程要考虑项目所在地的供电和供水是否能满足工程以及生产负荷需求,交通要求便利,以利于产品的外输销售。

2.3 天然气液化的工艺流程技术^[13 7~9]

由于天然气液化装置投资庞大,在进行天然气的液化工艺流程设计时,既要考虑流程设备投资,又要保证液化流程具有较高的液化率和较低的能耗。因此,最佳的流程必须具有结构紧凑、设备简单、功耗低、维护方便等特点。LNG工厂中最主要的工艺流程是原料气预处理流程和液化流程。

LNG工厂的原料气为管道天然气,天然气在进入输气管道之前虽然已按管道标准进行了处理,但

在进行天然气液化之前,还必须进行天然气预处理,脱除原料气中的酸性气体和其他杂质,其目的是避免它们在低温下冻结而堵塞、腐蚀设备和管道,提高产品的纯度。天然气预处理方法及杂质最大允许量见表 1。

表 1 原料气预处理方法及杂质最大允许量

杂质	脱除方法	最大允许量	危害
H ₂ O	冷却法	$< 0.1 \times 10^{-6} (V)$	产生水合物导致管道堵塞
	甘醇脱水法 固体吸附法		
酸性气体	胺法	$CO_2 < (50 \sim 100) \times 10^{-6} (V)$ $H_2S < 3.5 mg/m^3$ $CO_2 < 0.1 \times 10^{-6} (V)$	腐蚀设备
	Benfield法		
	Sulfinol法		
硫分	分子筛	$< 10 \sim 50 mg/m^3$	燃烧时污染空气
Hg	MR-3吸收剂	$< 0.01 \mu g/m^3$	腐蚀破坏铝制板换热器
重烃	深冷分离	$(1 \sim 10) \times 10^{-6}$	冷却结冰发生冰堵

天然气液化工艺是利用外加冷源和自身压力使气态天然气转化为液态的工艺过程。天然气液化流程的选择将直接影响到天然气液化工厂建设及运行的经济性,需要综合考虑投资、能耗、可靠性、安全性等因素。目前,主要的液化流程有:阶式制冷循环工艺(级联式)、无预冷的混合制冷剂液化流程、带预冷的混合制冷剂制冷循环工艺、膨胀机制冷循环工艺。各种液化流程比较见表 2 各种液化流程特性比较见表 3。液化工艺的优选要针对原料气的气质和输入压力,以降低能耗、流程设计简单、设备少、成本低为目标,选择出最优的液化工艺流程。目前,大部分 LNG 工厂采用高效的丙烷预冷混合制冷剂液化流程。一些新型的液化流程由于具有流程简单、建设周期短、投资少、收益快的优点,很适用于小型的 LNG 项目。

2.4 液化装置的主要设备及选择原则^[1,3]

2.4.1 压缩机

压缩机在天然气液化装置中,主要用于增压和气体输送。天然气液化装置的压缩机应充分考虑所压缩气体是易燃、易爆的危险介质,要求压缩机的轴封具有良好的气密性,电气设备和驱动电动机具有防爆装置。另外,由于压缩机进气温度低,润滑油会

冻结而无法工作,因此,应选择无润滑的压缩机。

表 2 各液化流程能耗比较

阶式模式	与阶式的相对能耗
阶式流程	1.00
单级混合制冷流程	1.25
丙烷预冷混合制冷流程	1.15
多级混合制冷流程	1.05
单膨胀机流程	1.00
丙烷预冷单膨胀机流程	1.70
双膨胀机流程	1.70

表 3 各流程特性比较

指标	阶式	MRC	膨胀机
效率	高	中/高	低
复杂程度	高	中	低
换热器类型	板翅	板翅或绕管	板翅
换热器面积	小	大	小
适应性	高	中	高

2.4.2 换热器

在液化工艺流程中,主要有绕管式和板翅式换热器两种形式。绕管式换热器垫主要用于基本负荷型的液化装置,其特点是效率较高、维修方便;板翅式换热器,主要用于调峰型的液化装置,其特点是成本比较低,结构紧凑。

2.4.3 LNG泵

LNG在转移过程中,采用泵进行输送。输送 LNG这类低温的易燃介质,输送泵不仅要具有一般低温液体输送泵能承受低温的性能,而且对泵的气密性能和电气方面的安全性能要求更高。

2.4.4 LNG输送管路

由于 LNG的输送是处于封闭状态下进行的,因此, LNG管路在液化天然气系统中的作用非常重要。在进行 LNG管路设计时,不仅要考虑低温液体的隔热要求,还应特别注意因低温引起的热应力问题,防止水蒸气渗透的防护措施问题,避免出现冷凝和结冰的现象等。

2.4.5 膨胀机

膨胀机是天然气液化装置中获取冷量的关键设备。由于天然气液化装置的气体处理量很大,一般都采用透平膨胀机,它具有体积小、重量轻、结构简

单、气体处理量大、运行效率高、操作方便和使用寿命长等特点。透平膨胀机不仅可以为液化装置提供冷量,其产生的功还可以用于驱动压缩机或发电机等设备。

LNG工厂项目的设备选型要求在遵循技术先进、可靠和经济合理等基本原则的前提下,还应注意以下几个问题:

- 设备与 LNG生产能力吻合;
- 生产出来的 LNG应能满足质量要求;
- 相关联设备间数量以及各种技术指标的参数要相吻合;
- 应强调设备的可靠性和成熟性;
- 满足环保要求,符合政府或专门机构发布的技术标准要求。

3 其它^[4]

3.1 项目基础数据估算

财务基础数据估算是在市场资源,技术条件分析的基础上,依据现行的法律、法规、价格政策、税收政策和其它有关规定,对一系列有关的财务基础数据进行调查、收集、整理和测算,并编制有关的财务基础数据估算表格的工作。它包括对 LNG工厂建设项目计算期内各年的经济活动情况及全部财务收入结果的估算。

3.2 财务分析

财务分析是分析预测工程项目的财务效益与成本,计算财务分析指标,考察拟建 LNG工厂的赢利能力,偿债能力和外汇平衡能力,据此评价和判断项目财务的可行性。

3.3 社会评价及环境影响评估

社会评价旨在系统调查和预测拟建 LNG工厂

的建设、运营生产的社会影响与社会效益,以协调社会关系,避免社会风险,促使项目顺利实施。此外,还应该做好环境影响的评估,充分调查涉及的各种环境因素,并按照社会经济发展与环境保护相协调的原则,提出预防或降低不良环境影响的具体方案。

4 结束语

天然气液化工厂建设是一个大系统、大工程。对天然气液化工厂建设前期进行相关技术和内容的可行性研究,有利于项目的顺利开展,有利于资源的优化配置,从而能节省项目总的投资费用,加快工程的快速完成,使整个项目更具条理性和科学性。

参考文献:

- [1] 顾安忠. 液化天然气技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [2] 乔国发, 李玉星, 张孔明, 等. 我国液化天然气工业的现状与发展前景 [J]. 油气储运, 2005 24(3): 1-4
- [3] 陈文煜. 150万 m³/d液化天然气工厂技术分析 [J]. 深冷技术, 2006 2(1): 18-22
- [4] 和宏明, 薄立馨. 投资项目可行性研究工作手册 [M]. 北京: 中国物价出版社, 2002
- [5] 周志斌. 四川盆地天然气供求预测和市场展望 [J]. 天然气工业, 2003 23(5): 120-123
- [6] 朱刚, 顾安忠. 液化天然气工厂建设的投资分析 [J]. 天然气与石油, 1999 17(3): 52-55
- [7] 王香增. 天然气液化工艺技术研究及应用 [J]. 石油与天然气化工. 2004 33(2): 91-92
- [8] 黄莉, 袁宗明, 商永滨. 天然气液化工艺的选择 [J]. 新疆石油天然气, 2006 2(2): 84-88
- [9] Address D L, Watkins R J Beauty of Simplicity Phillips Optimized Cascade LNG Liquefaction Process [J]. Advances in Cryogenic Engineering 2004 91-100