

小型天然气气井开发生产模式探讨

李文丰 刘俊 高鑫 王海兰 杨凡 班久红

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要:对产气量较小的天然气气井($10 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),可就近建立小型 LNG 工厂。根据天然气生产的工艺特点及流程,通过模块化划分方法,将 LNG 生产全过程进行橇装设计,用搭积木的方式,将主要设备及工艺管道集成于一个、多个或多层的钢结构上,在制造厂制造及预组装,完成全部工序后,运输至现场进行简单的复位安装,实现现场快速安装、投产,节约工期及成本,形成高效、快捷、易搬迁的小型 LNG 工厂建设模式,具有小型天然气气井快速开发和生产的技术优势,并已在实际生产中得到应用。

关键词:小型气井;LNG 工厂;模块化;橇装化;一体化;边际气田;零散气田;非常规气田

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.02.005

0 前言

我国天然气资源丰富且分布广泛,存在着大量储量较少的零散气田和开采成本较高的边际气田、非常规气田^[1-3]。这些气田的特点是量少而质富,但因就地无用户,且无法承担长距离管道运输的成本而难以进入天然气市场。针对这些气田,就近建立小型 LNG 工厂,减少天然气管输成本,有利于边远天然气的储存和利用,也有利于天然气使用中的调峰和市场开拓,扩展了天然气的利用形式,具有重要意义和价值。因此,提供从天然气井口到 LNG 产品全过程的模块化、橇装化、一体化解决方案,将打破产气量小的零散气田、边际气田、非常规气田的开发建设模式,形成高效、快捷、易搬迁的小型 LNG 工厂建设模式。该模式对我国开发边远小型气田,充分利用分散天然气资源有重要的现实意义。

1 小型天然气气井生产工艺流程

1.1 单井天然气生产工艺流程

井口来天然气经节流、降压后进入气液分离器进行气液分离,分离后的气体经过计量后由管输系统运送至下游 LNG 系统,分离后的液体经自动排液系统排放至污

水池^[4]。单井天然气生产工艺流程,见图 1。

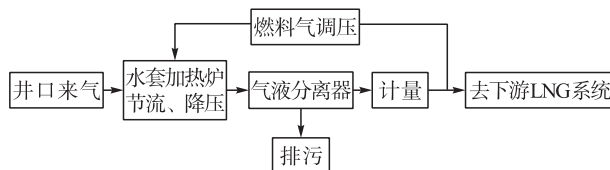


图 1 单井天然气生产工艺流程

1.2 LNG 工厂典型工艺流程

天然气液化前,需将原料气中的 H_2S 、 CO_2 、 H_2O 、重金属及重烃等组分脱除,满足天然气液化要求,避免 CO_2 、 H_2O 、重烃在低温下冻结而堵塞系统设备和管线,以及 H_2S 和重金属对系统设备的腐蚀。原料天然气要满足 LNG 原料气质量要求,必须对其进行深度净化预处理。

自单井站或集气站来的原料天然气,进入天然气脱碳装置吸收塔(井口压力较低,需增压后进入;井口压力满足要求,可直接进入),脱除 CO_2 。脱除 CO_2 后的湿净化天然气进入分离器气、液分离后,气相送至脱水脱重金属装置进行处理。从吸收塔底部出来的富胺溶液进入再生循环系统,再生后的贫胺液经贫液循环泵增压后返回吸收塔,完成整个溶液系统的循环^[5-9]。

收稿日期:2015-12-06

基金项目:国家科技重大专项“页岩气气藏工程及采气工艺技术”(2016 ZX 05037)

作者简介:李文丰(1978-),男,四川广安人,工程师,学士,主要从事天然气加工工艺技术研究及工程设计管理工作。

天然气经脱碳后进入天然气脱水脱重金属装置的分子筛脱水塔进行吸附脱水,然后进入脱重金属塔,脱重金属后的天然气经粉尘过滤器过滤后,进入液化单元。脱水再生气计量后,作为燃料气使用。

经过净化的天然气进入原料气/闪蒸气换热器和来自罐区的BOG换热,换热后天然气进入冷剂换热器。经预冷后的净化天然气从冷箱中抽出进入重烃分离器,分离出天然气中 C_3 及以上重烃组分。脱重烃后的天然气返回冷箱继续冷却液化,并过冷,再经J-T阀节流降压后进入LNG储罐,经闪蒸后得到LNG产品以及部分闪蒸气(BOG)。

从重烃分离器分离的低温重烃经复热后进入重烃分离罐。分离出的气体输送至燃料气系统,分离出的液相存储后装车外运。

LNG产品通过LNG管道泵输送至装车区进行装车外运。

LNG工厂典型生产工艺流程^[10-11],见图2。

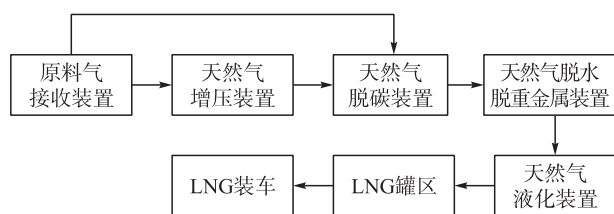


图2 LNG工厂典型生产工艺流程

2 小型天然气气井开发建设方案

小型天然气气井以模块化、橇装化、一体化的模式进行开发建设,即通过对油气集输处理设备橇装化设计,将传统油气处理厂、集输站场、单井站的工艺装置根据区块划分,将独立区块内的装置在建造厂内完成预制,经检验合格后,再根据运输条件,拆分为可以运输的模块,待模块运至建设现场后,根据安装手册将各模块按搭积木的方式复位安装。该方案可分为设计阶段和建造阶段。设计阶段又可分为两步:第一步方案设计,进行模块划分,确定各模块基本尺寸(长、宽、高等),并完成模块内部设备、管道的初步布置;第二步详细设计,按照方案设计的模块划分,对各模块内部设备管道的布置和模块对外接口的位置及尺寸进行精细、准确设计,其中包括设备、管道、仪表、电气、钢结构安装设计等,以及橇体(梁、柱)、橇座、梯子、平台、支座、吊架设计等。在模块划分时,应充分考虑装置使用地法规所要求的运输尺寸及重量限制,并同时满足工艺流程、安全生产和环境保护的要求。设计过程需依托三维设计软件开展三维模块化协同设计,实现配管、结构、自控、电气等专业同时同一作业平台上工作,避免专业间出现错、漏、碰、缺,提高设计质量。在三维设计过程中,抽取30%、

60%、90%和100%模型审查点,邀请行业专家就工艺流程、平面布置、管道走向、仪电设置、操作维修、安全通道等要点进行三维审查,以便后期建造阶段的顺利开展^[12-13]。

2.1 模块化、橇装化、一体化方案设计

2.1.1 单井设计

单井橇装一体化是将天然气生产单井站中的水套炉、分离器、节流元件、自用气装置、计量装置以及配套阀门、管线、仪表等集成于同一橇座上形成一整体设备。通过利用橇装模块化技术,集加热、节流、分离、计量等功能为一体,优化辅助功能,在有效减少橇块尺寸的同时实现单井天然气生产装置的整装化、快装化,实现单井天然气快速生产外输。单井一体化橇装装置的三维模型见图3。

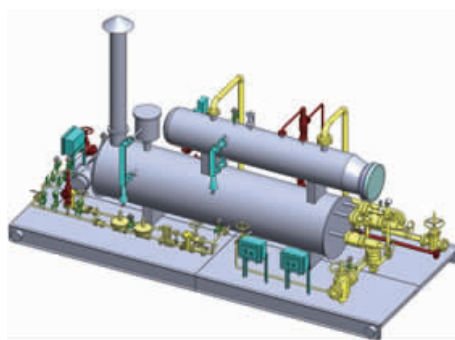
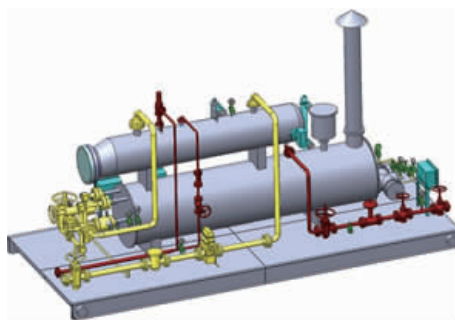


图3 单井一体化橇装装置三维模型

2.1.2 LNG工厂设计

LNG工厂装置包括原料气增压模块、脱碳模块、脱水及脱重金属模块、天然气液化模块、冷剂存储模块、闪蒸气增压模块以及导热油供热系统等主体工艺模块。各模块单独设计,均可根据实际工况进行微调,满足在不同天然气处理装置上的通用性。此外,对于不宜成橇的装置

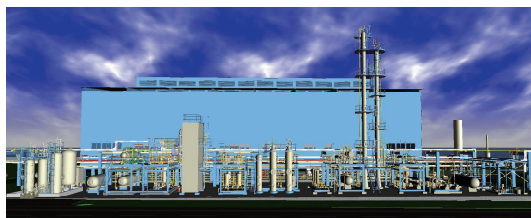


图4 LNG工厂模块化、橇装化、一体化三维设计整体模型

及设备,可在制造厂内完成设备与橇装装置连接管线的预制,仅在现场留少数焊口,减少现场工作量。LNG 工厂模块化、橇装化、一体化三维设计整体模型见图 4。

2.2 模块化、橇装化、一体化建造方案

模块化、橇装化、一体化建造的实质是将大量施工现场作业转移至工厂内完成,最大限度实现工厂预制化。其建造流程主要包含:原材料入厂验收、模块建造、模块出厂验收、模块拆分包装运输、现场到货验收、现场复位安装、现场试运行等环节。模块化、橇装化、一体化建造流程见图 5。



图 5 模块化、橇装化、一体化建造流程

2.2.1 原材料入厂验收

模块建造所需原材料(管道、钢材、非标设备、仪器仪表、电气设备、油漆等)的入厂验收,与传统的现场施工模式不同,因建造地点在工厂,故模块内所有物资的验收均需转移至工厂。入厂验收过程应由业主、制造厂质检部门、项目监理、物资采购单位等多方代表参与。原材料的质量直接关系到整个模块化建设工程的进度、费用和质量,因此,原材料的入场验收尤为重要。

2.2.2 模块建造

模块制造是将所有模块内的管道、设备、钢结构及电仪设备等按照工厂制造图组装成具备功能需求的整体,制造过程中完成所有焊接及无损检测、管线的热处理、管道及模块整体强度测试、设备及管道保温防烫、钢结构防火、喷砂涂漆等工序。模块制造是整个模块化建造最关键、难度最大的环节。

2.2.3 模块出厂验收

模块建造各项工作完成后,由业主及其代表组织进行检验验收。出厂验收过程应按照业主批准的工厂验收程序进行,该程序一般包括实物与图纸的符合性检查、实物外观检查、调节及切断类阀门功能性测试、电仪通电实验、资料检测等。模块出厂验收结果将直接判定其是否具备出厂条件。

2.2.4 模块拆分包装运输

制定对应模块的拆分、包装、运输等程序文件,并严格按照每个程序文件对模块进行拆分、包装、运输。能否对该过程进行严格把控将决定模块是否能完好无损抵达安装现场。

2.2.5 现场到货验收

根据模块自身特点,其现场到货验收程序有别于一般工程项目的设备到货验收。模块验收的不同标准也可能导致验收要求的实现程度存在差异,其验收内容的具体要求会反馈到模块化建设前述的所有阶段,从而引

起工期、质量和费用方面的变化。

2.2.6 现场安装

模块的现场安装与传统建造的现场施工存在较大差异。为达到零返工的理想效果,模块的现场复位安装需要在模块制造厂商的指导下,严格按照模块制造厂商出具的现场复装手册进行。模块是否能成功安装是制约项目成败的关键,因此,该环节的质量控制尤为重要。

2.2.7 现场试运行

现场试运行作为模块化建设的最后环节,其顺利与否是评价项目成功的重要指标。

3 生产应用

小型天然气气井以模块化、橇装化、一体化生产模式进行开发生产应用于某工程,原料天然气流量为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,温度为 $0 \sim 35^\circ\text{C}$,天然气井口压力经一体化橇装装置节流降压至 5.0 MPa 后进入天然气液化处理装置。原料天然气经预处理后,经液化装置液化过冷,出冷箱后节流降压,在 LNG 储罐中闪蒸并得到 LNG 产品,产品流量为 4.2 t/h ,压力为 0.02 MPa ,温度为 -160.8°C 。

该套装置共划分 17 个橇装装置模块,单个橇装装置尺寸 $3.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$,采用多层设计,在制造厂内完成所有工艺、仪表、电气、结构的安装,并进行预组装,完成整体试压后出厂,运输至现场后进行少量复位安装工作,短时间内完成投产试运。

通过该工程的成功应用,可将小型天然气气井模块化、橇装化、一体化生产模式的优点总结如下:

1) 工艺成熟、可靠,运行平稳,操作简便,自动化程度高。

2) 大大减少现场施工工作量,保证施工安全。将装置内的焊接、探伤、热处理、装配、试压、仪电检测及单机试运转等工作转移至制造厂完成,现场仅需少量人员进行模块复位安装、试压、联合调试,降低了现场大量人员施工及交叉作业引起的安全风险。

3) 显著缩短项目建设周期。利用制造厂人力资源、施工机具资源、施工场地等优势,实现多个单体模块同时制造,同时规避恶劣天气对工期的影响,有效缩短装置施工工期^[14]。

4) 提高项目建设质量。依托制造厂严格的质量管理体系、良好的室内施工条件、可靠的质量检验器具,通过装置制造过程中的质量控制和出厂验收,提高装置建造质量^[15-16]。

4 结论

小型天然气气井工厂模块化、橇装化、一体化开发设计方案,提供了天然气从井口产出到 LNG 产品出厂全过程的模块化解决方案。该方案将单井一体化与小型 LNG

模块化工厂建造技术相结合,并依托施工配套设施先进、质量管理控制体系完善、人力及物资资源充足的制造厂完成各橇装化、模块化装置的厂内建造。经检验合格后,根据运输条件限制,将装置拆分为可以运输的模块运抵建设现场。现场施工方可在短时间内将各模块按搭积木的方式复位安装。这种高效、快捷、易搬迁的从井口采气到LNG产品的一体化建设模式适用于产气量较小的天然气气井,在储量较少的零散气田、边际气田、非常规气田的开采利用领域具有十分广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 姜福杰,庞雄奇,欧阳学成,等.世界页岩气研究概况及中国页岩气资源潜力分析[J].地学前缘,2012,19(2):198-211.
Jiang Fujie, Pang Xiongqi, Ouyang Xuecheng, et al. The Main Progress and Problems of Shale Gas Study and the Potential Prediction of Shale Gas Exploration [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19 (2): 198-211.
- [2] 黄鑫,董秀成,肖春跃,等.非常规气田勘探开发现状及发展前景[J].天然气与石油,2012,30(6):38-41.
Huang Xin, Dong Xiucheng, Xiao Chunyue, et al. Present Situation and Development Prospect of Unconventional Oil and Gas Exploration and Development [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (6): 38-41.
- [3] 贾铁英.亚太地区LNG市场新形势及我国面临的机遇与挑战[J].国际石油经济,2009,17(6):26-30.
Jia Tieying. The New Asia-Pacific LNG Market: Opportunities and Challenges for China [J]. International Petroleum Economics, 2009, 17 (6): 26-30.
- [4] 朱利凯,陈赓良.天然气处理与加工[M].北京:石油工业出版社,1997:59.
Zhu Likai, Chen Gengliang. Gas Treatment and Processing [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 59.
- [5] 高福金,王景昌.新型橇装天然气脱水装置[J].油气田地面工程,2009,28(5):94-94.
Gao Fujin, Wang Jingchang. The New Skid Mounted Gas Dehydrating [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2009, 28 (5): 94-94.
- [6] 顾安忠.液化天然气技术[M].北京:机械工业出版社,2003:10.
Gu Anzhong. Liquefaction Technology for Natural Gas [M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 10.
- [7] 陈斯.模块化技术在天然气加工处理厂中的应用[R].贵阳:2014年全国天然气学术年会,2014.
Chen Si. Application of the Modularization Technic in Natural Gas Processing Plant [R]. Guiyang: National Annual Conference on Natural Gas in 2014, 2014.
- [8] 冯白羽,林罡,王荣敏.长庆油田站场橇装集成化设计研究探讨[J].石油工程建设,2013,39(4):33-36.
Feng Baiyu, Lin Gang, Wang Rongmin. Research and Discussion on Skid Integrated Design in Changqing Oilfield Station [J]. Petroleum Engineering Construction, 2013, 39 (4): 33-36.
- [9] 夏政,罗宾,张箭啸,等.长庆油田一体化集成装置的研究与应用[J].石油规划设计,2013,24(3):19-21.
Xia Zheng, Luo Bin, Zhang Jianxiao, et al. Development and Application of Integrated Device in Changqing Oilfield [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2013, 24 (3): 19-21.
- [10] 陈叔平,任永平,邹品芳,等.橇装式LNG汽车加气站结构设计[J].低温与超导,2010,38(1):20-24.
Chen Shuping, Ren Yongping, Wu Pinfang, et al. Design of Skid Mounted Fueling Station for LNG Vehicles [J]. Cryogenics and Superconductivity, 2010, 38 (1): 20-24.
- [11] 廖长缨.LNG产业发展前景浅析[J].改革与开放,2012,(18):81.
Liao Changying. Analysis on the Development Prospect of LNG Industry [J]. Reform and Opening, 2012, (18): 81.
- [12] 吴云峰,邱华.面向设计与制造的数字化工厂平台[J].中国制造业信息化,2011,40(1):25-28.
Wu Yunfeng, Qiu Hua. The Digital Factory Platform Oriented to Design and Manufacture [J]. Manufacture Information Engineering of China, 2011, 40 (1): 25-28.
- [13] 熊新强,陈雪松,付晓东,等.PDMS三维设计在油气田地面工程中的应用[J].石油工业计算机应用,2013,21(4):37-39.
Xiong Xinqiang, Chen Xuesong, Fu Xiaodong, et al. The Application of PDMS 3D Design in the Oil-Gas Field Surface Engineering [J]. Computer Applications of Petroleum, 2013, 21 (4): 37-39.
- [14] 曹文胜,鲁雪生,林文胜,等.小型LNG装置的模块化橇装工艺技术.化工学报[J].2009,60(增刊):100-105.
Cao Wensheng, Lu Xuesheng, Lin Wensheng, et al. Technologic Design on Modularization in Skid-mounted Package of Small Scale LNG Project [J]. CIESC Journal, 2009, 60 (Suppl): 100-105.
- [15] 董文乙.液化天然气模块化建造结构加工设计[R].银川:全国钢结构学术年会,2011.
Dong Wenyi. Steel Structure Processing Design of LNG Modular Construction [R]. Yinchuan: Academic Annual Meeting of the National Steel Structure, 2011.
- [16] 王登海.苏里格气田橇装设备的开发与应用[J].天然气工业,2007,27(12):126-127.
Wang Denghai. Development and Application of Skid Mounted Equipment in Sulige Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27 (12): 126-127.