

高压气井地面集输工艺研究与应用

杨先辉¹, 刘易², 康凯¹, 文宏武¹, 王轶超¹, 黄志远¹

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

2. 中国石油华北油田公司生产运行部 河北任丘 062552

通讯作者: Email: trancekk@qq.com

项目支持: 中国石油渤海钻探工程有限公司重大科技研发项目“超高压气井地面计量热交换及控制系统研究”(2021ZD06F)

引用: 杨先辉, 刘易, 康凯, 等. 高压气井地面集输工艺研究与应用[J]. 油气井测试, 2023, 32(3): 22-26.

Cite: YANG Xianhui, LIU Yi, KANG Kai, et al. Research and application of surface gathering process for high-pressure gas wells[J]. Well Testing, 2023, 32(3): 22-26.

摘要 塔里木油田普遍存在高压气井的井位距离较远, 试采作业中需要长距离输送回收天然气的问题, 现有 10 MPa 分离器受自身承压等级限制无法提供足够的出口压力克服沿程摩阻完成天然气回收, 为此研发出 25 MPa 高压分离器。经对 10 MPa 分离器材质进行选择, 优化焊接工艺, 增强了分离器在高温高压工况下的耐压和耐腐蚀性; 对入口分流器、聚结构件进行结构和参数优化, 增强了分离器内部结构的可靠性, 提高了分离器高压高产工况下的分离效率; 设计了液相多级节流装置, 延长了高压工况下分离器液相调节阀的使用寿命, 避免了因高压差造成的阀门失敏, 提高了分离器液面的稳定性。25 MPa 高压分离器分别在博孜 X 井及迪那 X 井进行了长期现场实验, 取得了良好的效果, 在酸化解堵及天然气进管网的施工工艺上, 满足塔里木油田安全生产需求。

关键词 试油试采; 高压气井; 三相分离器; 材质选择; 多级节流装置; 结构改进; 天然气管网; 现场应用

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.03.005

Research and application of surface gathering process for high-pressure gas wells

YANG Xianhui¹, LIU Yi², KANG Kai¹, WEN Hongwu¹, WANG Yichao¹, HUANG Zhiyuan¹

1. Well Testing Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

2. Production and Operation Department of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: In the Tarim oilfield, the long distance between high-pressure gas wells poses a challenge for the transportation and recovery of natural gas during production testing. The existing 10 MPa separator cannot provide a sufficient outlet pressure, due to its limited pressure rating, to overcome frictional losses along the pipeline for gas recovery. To address this issue, a 25 MPa high-pressure separator was developed. The 25 MPa high-pressure separator is more pressure- and corrosion-resistant under high-temperature and high-pressure conditions, by virtue of optimized materials and welding process. The optimized structure and parameters of the inlet distributor and aggregation components allow the separator to have a more reliable internal structure, improving the separation efficiency under high-pressure and high-production conditions. A liquid multi-stage throttling device is designed to prolong the service life of the liquid control valve in the separator under high-pressure condition, so as to prevent valve sensitivity caused by high pressure differential, thereby improving the stability of the liquid level in the separator. The 25 MPa high-pressure separator was tested in Wells Bozi X and Dina X, yielding favorable results. It meets the safety production requirements of the Tarim oilfield in terms of acidification and blockage removal as well as the construction process for gas entry into the pipeline network.

Keywords: production testing; high-pressure gas well; three-phase separator; material selection; multi-stage throttling device; structure improvement; gas pipeline network; field application

随着油气田勘探开发范围的日渐扩大, 高压、超高压气井已成为塔里木油田勘探开发的主力军, 其气产量贡献超过 50%, 最高井口流压超过 120 MPa, 日产气量达到 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上, 持续刷新压力、产量记

录。随着塔里木油田建设 $3\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 目标的提出, 超高压气井地面计量工作量逐年增多^[1-3]。

为满足塔里木油田高压气井天然气回收的需求, 李晶等^[4]提出了采用对输气管道天然气进行加压, 再

回送至下游管线的方法。然而地面计量试采时,使用临时管道,输气管线并不具备增压能力。在以往的生产中此类井不具备回收条件,只能全部在现场放空燃烧,带来了极大的资源浪费和严重的环保问题^[5-6]。因此针对距离集输站较远的情况,天然气进入管网需要较高压力(12 MPa 以上),现有的常规三相高压分离器不能满足要求(出口压力仅 8 MPa),除此以外高压分离器面临的工况也发生了变化,常规分离器在高温高压环境下长期使用会出现腐蚀加剧,内部结构易损坏,液位控制系统损坏和失敏的情况。这些技术现状已经开始制约试采业务的进一步拓展。

李双胜等^[7]针对分离器内部构件的分离效果和可靠性,结合分离器设计实例,阐述了重力气液分离器内件选型及设计方法,并且运用数值计算方法对 4 种不同结构的入口构件流场的流动特性进行了模拟。结果表明,孔箱式入口构件的分离效果最高,然后依次为离心式入口构件、蝶式入口构件和挡板式入口构件。但是孔箱式入口构件和离心式入口构件的结构相对复杂,成本也较高,安装要求比较严格。针对高温高压环境下分离器腐蚀加剧的问题,刘强等^[8]认为,服役环境中硫化氢等酸性腐蚀性介质的存在、涂层施工工艺质量控制以及所选涂料对现场环境的适应性可能是导致酸气分离器腐蚀的根本原因,因此为了延长分离器高温高压工况下的使用寿命,分离器内涂层的选择是关键。侯璐瑶^[9]针对高压流体对阀门的气蚀情况,建立数学模型和物理模型,模拟了不同压力和流速下气泡发生位置以及对阀门的影响,对现有调节阀进行了改进,得到了阀门在特定开度、压力和流速下(压力<6 MPa,流速<9 m/s)可以减少气蚀对阀门零件的损害。但是在实际工况下,介质、压力和温度变化范围大,而且在高压工况下现有分离器阀门控制器受到高压差影响存在失敏现象,导致高压流体冲击下游出液管线,形成安全隐患。

基于上述情况,为实现高压气井试采作业,急需对三相高压分离器进行深入研究,同时配套高压节流管汇、地面计量测试辅助装备等,解决塔里木油田远距离高压气井单井长期试采的相关问题。

1 三相高压分离器研制

在对三相高压分离器工作原理分析的基础上,提出优化设计方案。

1.1 三相高压分离器工作原理

三相高压分离器应用重力分离的原理将油气水三相分开。流体首先进入入口分流器并撞击到折射板上,气体从液体中逸出并上升,液体下沉至容器的下部,一部分未被分离出的液滴被气体夹带着向前进入聚结构件内,液气再次分离。分离后气体经消泡器、捕雾器净化后排出分离器。堰板将容器分成油室和水室,当容器内液面的高度超过容器高度的 1/2 时,水上面的油就会漫过堰板进入油室^[10],如图 1 所示。

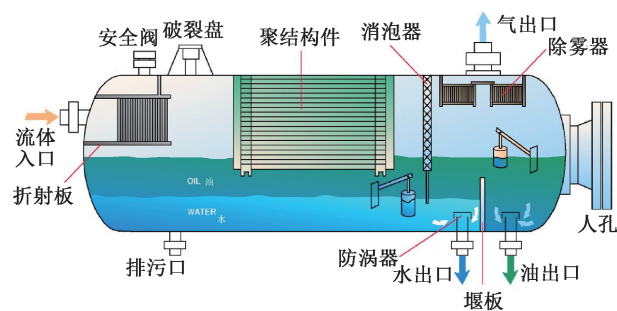


图 1 分离器工作原理

Fig. 1 Working principle of separator

1.2 三相高压分离器优化设计

三相高压分离器将承压级别提高至 25 MPa,温度级别介于 $-19\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,防酸 $\geq 15\%$,防硫 EE 级,日处理天然气 $200\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,液 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$,对分离器压力等级、防硫等级、内部构造进行了研究改造。

分离器工作分为四个阶段,相分离段、重力沉降段、积液段、除雾段。影响分离器效率的因素较多,主要包括:粒径分布、入口脱气、整流板、填料设置、停留时间等。

(1) 材质优选

高压分离器多应用于塔里木油田山前区块,多在酸化压裂施工作业后进行应用,该类井含硫、含酸、含砂相对较多,因此采用耐蚀金属制造。最终确定设备材质为:基层材质选用低合金钢 Q345R,内部堆焊 5 mm 厚的 UNS N06625 合金^[11]。

(2) 旋流入口分流器设计

相分离段主要为入口分流器,在传统平板式入口分流器前段管道内加装旋流喷嘴,使得产出流体进入后形成旋转流,随后撞击入口折射板,分离液经旋流过程可以大幅度的减少泡沫与乳化现象,提高入口分流器的分离效率。由于从气井采出的气体中含有少量的液体,液体包括油滴、水滴及固相颗粒,各种颗粒的粒径分布不同,较大颗粒的液滴和

固相颗粒较易从气体中分离,而较小的颗粒在高流速下可能雾化。入口处的旋流喷嘴能够实现初步的气液分离,减小流速,避免雾化,增加流体在分离器内停留时间^[12]。同时旋流入口分流器可以有效减小地层流体对折射板和整流板的冲击作用,保持内部结构的完整性,延长分离器内部构件的寿命,如图 2 所示。

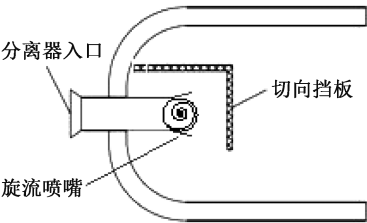


图 2 分离器入口分流器示意图
Fig. 2 Separator working principle separator inlet diverter diagram

(3) 聚结构件作用机理分析与设计

聚结构件位于分离器内的集液区,它的作用主要是促进气液的分离。聚结构件有两种形式,一种是板式聚结构件,另一种是管式聚结构件。后者要求更多的空间,所以其使用范围受到了较多限制,应用较广的是板式聚结构件,它由一组间隔为 1~5 cm 的平板(也有波纹板的形式)构成,这些板的放置方向与水平方向倾斜一定的角度,促进油滴(水滴)的聚结,从而达到促进气液分离的目的。

如图 3 所示,分离器内的聚结构件各板等间距呈“V”字形倾斜放置,流入该区域的小液滴碰撞到聚结板上,进一步被粉碎和分离,分理处的液滴聚集在聚结构件上,沿着板壁向下进入重力沉降段。

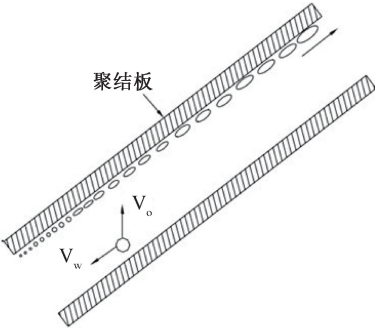


图 3 聚结板原理图
Fig. 3 Schematic diagram of coalescence plate

聚结构件有减小流体速度的作用,毛东壁等^[13]论证比较了 30°,45°,60°倾斜构件在 50 μm 油滴粒径和 100 μm 油滴粒径的分离性能,随着聚结板倾

角的增大,液滴的下沉速度加快,聚结分离速度提高。相比较而言选择 45°的倾斜构件是能得到比较满意的分离效果(见表 1)。

表 1 不同倾角模型的分离性能比较
Table 1 Comparison of separation performance in different obliquity models

模型名称	油滴微粒/50 μm	油滴微粒/100 μm	总体分离性能
倾角 30°	最好	中等	中等
倾角 45°	中等	最好	最好
倾角 60°	最差	最差	最差

聚结构件对流体运动有阻碍作用,板间距越小,这种阻碍作用越强;板间距对聚并分离的效果并不像传统所认为的间距越小聚并分离效果越好,当板间距小到一定范围后,继续减小板间距对分离效果的提升将变得微乎其微甚至效果变差,相比较而言板间距为 15 mm 较好(见表 2)。

表 2 不同板间距模型的分离性能比较
Table 2 Comparison of separation performance in different plate spacing models

模型名称	油滴微粒 /50 μm	油滴微粒 /100 μm	总体分离性能
板间距 7 mm	最差	最好	中等
板间距 15 mm	最好	中等	最好
板间距 20 mm	中等	最差	最差

(4) 高压分离器液相多级节流装置设计

常规分离器对气液界面的控制依靠气控阀来完成,但在 10 MPa 或更高的生产压力下,因液相节流压差大,气控阀将失敏,对分离器气液界面的控制变得困难。考虑到生产时对液相长期进行高压节流,且可能伴随有重浆或固相颗粒,冲蚀刺坏阀门,因此,需要使用一种能够实现液相稳定节流、耐冲蚀的装置。

高压分离器液相多级节流方式,用于高压分离器进行天然气回收时,分离器压力在 8~20 MPa 的情况下通过分离器液相管线上串联的多组节流阀,进行逐级控压排液,减少控压阀门前后压差,以达到稳定排液、防刺的效果。

高压分离器液相多级节流装置采用笼式调节阀或笼式调节阀与针型、楔形阀组合的形式,依据多级节流、逐级降压的原理实现分离器高压状态下液面的控制。液相管线上串联 3 组 32 MPa 节流阀,生产前全部处于关闭状态,当分离器压力稳定后,分别调整各阀门开度,从上游至下游,阀门开度逐渐增加,直至出液量稳定为止。

高压分离器液相多级节流装置可以避免分离器高压时气控阀门失敏导致气液相串通的情况,使分离器高压生产的状态下,能够保持液相稳定的出流量;在液相中含有重浆或固相颗粒时,采用多级节流的方式可以降低压差,防止阀门冲蚀;节流阀耐刺耐磨能力强,结构简单易于操作,配件更换方

便,确保施工作业连续性。

2 现场试验

改进后的三相高压分离器在博孜X井及迪那X井进行现场实验,取得了良好的应用效果,流程如图4所示。

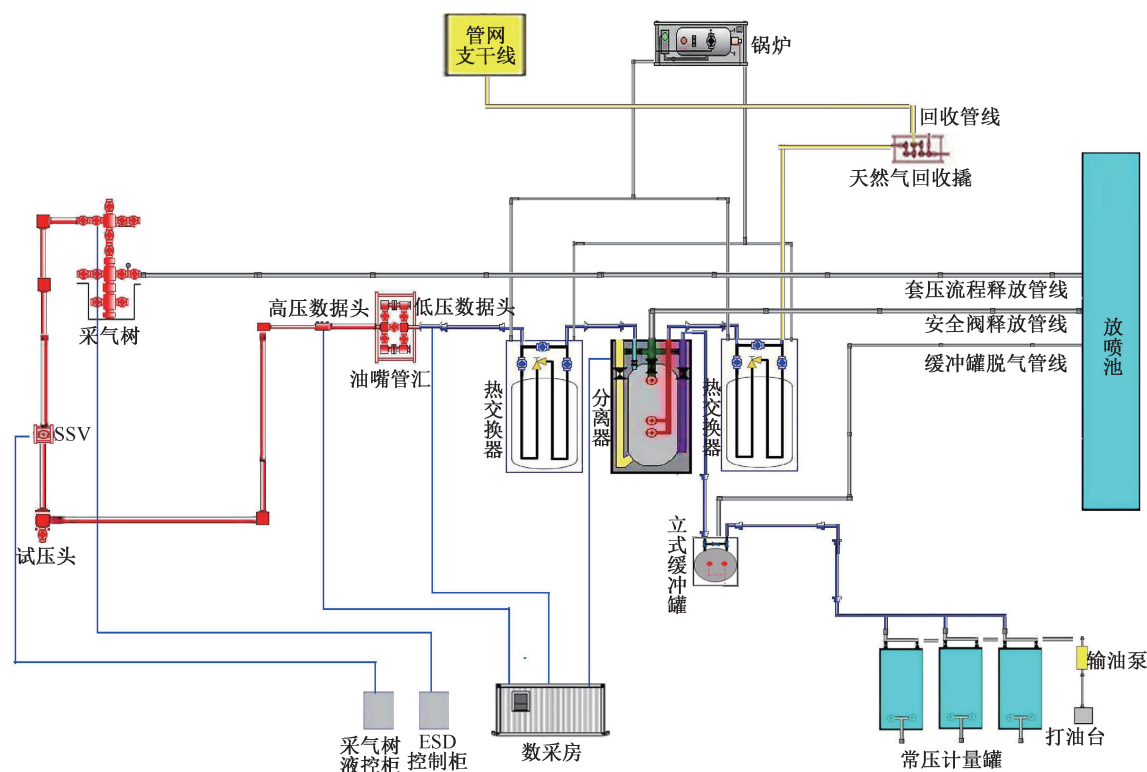


图4 地面试采作业流程图
Fig. 4 Flow chart of mining operation

2.1 博孜X井现场试验

博孜X井是位于塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带克深区带博孜、阿瓦特段交接部位博孜3号构造高点附近的一口预探井,完钻井深6 100.00 m。2019年7月19日至10月2日加砂压裂测试后转试采作业,采用8 mm油嘴放喷,井口压力94.39 MPa,套压43.8 MPa,分离器压力17.6 MPa,日产油169.04 m³,日产气705 740 m³,累计排液314.62 m³,管网压力17~18 MPa。博孜X井采用25 MPa高压分离器进行施工,其地面试采作业流程见图4。施工期间分离器保持18~19 MPa压力,使用液相多级节流装置,打开2#、1#节流阀,调节3#节流阀到合适的开度使压力达到19 MPa,依次调节2#、1#节流阀,观察a、b压力表控制阀门前后压差,实现逐级降压。经过三个月稳产施工分离器液面可以一直保持液面稳定,证明了25 MPa高压分离器能够充分满足高压油气井的天然气进管网生产工艺,论证了高压分

离器的设计使用达到了油气田地面测试领域的现场生产实际标准。

2.2 迪那X井现场试验

迪那X井位于新疆巴州轮台县境内,2020年6月20日放喷生产期间,采用6 mm油嘴放喷,求取该井产量,井口压力63.5 MPa,分离器压力18.2 MPa,日产水2.88 m³,日产气306 792 m³,管网压力17~19 MPa。迪那X井使用25 MPa高压分离器,其地面试采作业流程见图4。施工期间分离器保持18~19 MPa压力,使用液相多级节流装置,打开2#、1#节流阀,调节3#节流阀到合适的开度使压力达到19 MPa,依次调节2#、1#节流阀,观察a、b压力表控制阀门前后压差,实现逐级降压。经过2个月稳产施工分离器液面可以一直保持液面稳定,通过该井圆满完成任务,验证了25 MPa高压分离器在酸化解堵,天然气进管网的施工工艺上,满足塔里木油田安全生产需求。

3 结论

(1) 对于入口流速较大的情况,有必要在入口部分添加构件用于减小其对流场的冲击,并在沉降分离部分添加对气体具有整流作用的构件,保证液滴沉降的顺利进行,对于出口流速较大或出口情况不明的情形下,则应在出口前采取措施防止涡流的产生。

(2) 聚结板倾角在 45° 时对流体的减速作用较小,同时能有较好的分离效果,能达到比较好的分离效率和分离质量。当板间距离缩短到一定范围后,继续缩小间距对分离效果的提升微乎其微甚至效果更差,板间距在 15 mm 时效率最高。

(3) 液相多级节流装置有效的解决了分离器高压工况下阀门刺坏失效和调节阀调节失敏的问题。利用多级节流减小每一级节流阀之间的压降,从而降低流速,减小了冻堵风险,有效延长了阀门的寿命,确保长期试采作业不中断。

致谢:感谢渤海钻探重大科技研发项目“超高压气井地面计量热交换及控制系统研究”项目组相关技术人员的大力支持。

参考文献

- [1] 马群,高文祥,郑如森,等.克深气田“三超”气井安全隐患治理对策与实践[J].天然气与石油,2021,39(1):128-133.
MA Qun, GAO Wenxiang, ZHENG Rusen, et al. Control measures for safety hazards in “three-super-high” gas well in Keshen gas field and its implementation[J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39(1):128-133.
- [2] 郑如森,高文祥,曾努,等.塔里木油田“三高”气井连续油管打捞技术[J].油气井测试,2020,29(5):50-53.
ZHENG Rusen, GAO Wenxiang, ZENG Nu, et al. Coiled tubing fishing technology for “three-high” gas wells in Tarim Oilfield[J]. Well Testing, 2020, 29(5):50-53.
- [3] 郑如森,高文祥,王磊,等.塔里木油田高压气井压井技术[J].油气井测试,2021,30(2):30-33.
ZHENG Rusen, GAO Wenxiang, WANG Lei, et al. Well killing technology for high pressure gas wells in Tarim oilfield[J]. Well Testing, 2021, 30(2):30-33.
- [4] 李晶,杨建明,贾勇,等.输气管道放空天然气回收方案探讨[J].四川环境,2012,31(S1):73-75.
LI Jing, YANG Jianming, JIA Yong, et al. Discussion on the recovery of natural gas in vent pipe[J]. Sichuan Environment, 2012, 31(S1):73-75.
- [5] 代清华.天然气井放喷排液过程中天然气回收技术探析[J].机电工程技术,2018,47(8):91-93.
DAI Huaqing. Analysis on natural gas recovery technology during natural gas well blowout stage[J]. Mechanical &

- Electrical Engineering Technology, 2018, 47(8):91-93.
- [6] 蒲黎明,王科,李莹珂.国外某油田放空天然气轻烃回收工艺研究[J].天然气与石油,2020,38(4):29-35.
PU Liming, WANG Ke, LI Yingke. Study on light hydrocarbon recovery from vent gas of an overseas oilfield[J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38(4):29-35.
- [7] 李双胜,孙雷,曹永.等.海洋平台用重力分离器内件设计[J].石油化工设备,2011,40(2):50-53.
LI Shuang-sheng, SUN Lei, CAO Yong, et al. Selection and optimized design of Internal structure for gravity segregator[J]. Petro-chemical Equipment, 2011, 40(2):50-53.
- [8] 刘强,任权友,马骏,等.酸气分离器内部腐蚀产物及涂层脱落的分析[J].材料保护,2021,54(8):177-182.
LIU Qiang, REN Quanyou, MA Jun, et al. Analysis on corrosion products and coating shedding in acid gas separator[J]. Materials Protection, 2021, 54(8):177-182.
- [9] 侯璐瑶.高压差调节阀内部流体流动规律与汽蚀仿真研究[D].北京化工大学,2011.
HOU Luyao. Simulation study of fluid flowing and cavitation in high-pressure regulator valve[D]. Beijing University of Chemical Technology, 2011.
- [10] 马俊,范开峰,倪海涛,等.油气水三相分离器工作原理及现场应用效果分析[J].辽宁化工,2019,48(11):1128-1130.
MA Jun, FAN Kaifeng, NI Haitao, et al. Analysis on working principle and field application effect of oil-gas-water three-phase separator[J]. Liaoning Chemical Industry, 2019, 48(11):1128-1130.
- [11] 韩冰,冯伟,魏涛.抗硫高压分离器 UNS N06625 堆焊工艺与腐蚀试验[J].焊接,2017(5):47-50.
HAN Bing, FENG Wei, WEI Tao. Overlaying process and corrosion test of UNS N06625 in anti-sulfur high pressure separator[J]. Welding & Joining, 2017(5):47-50.
- [12] 杨美昆.高压分离器的制造技术[J].化工设备与管道,2019,56(1):31-34.
YANG Meikun. Technology for manufacture of high pressure separator[J]. Process Equipment & Piping, 2019, 56(1):31-34.
- [13] 毛东壁.三相分离器的设计及流场分析研究[D].西南石油大学,2015.
MAO Dongbi. Design and flow field analysis of three-phase separator[D]. Southwest Petroleum University, 2015.

编辑 刘振庆

第一作者简介:杨先辉,男,1972年出生,博士研究生,高级工程师,2007年毕业于哈尔滨工业大学仪器科学与技术专业,现主要从事试油测试技术研究及管理工作。电话:0317-2551479, 13512807024, Email: yangxianhui@petrochina.com.cn. 通信地址:河北省廊坊市广阳区万庄渤海钻探油气井测试分公司,邮政编码:065007。