

某气田膜分离脱碳试验装置的研制

王远江 孟凡丽 李海荣 郭庆生 卢任务

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:膜材料和预处理技术的进步,使膜分离脱碳技术成熟并取得成功应用。随着中国各高含CO₂气田的开发应用以及油田CO₂驱伴生气循环利用,对各种天然气脱碳技术的掌握和储备越显重要。在中国膜分离脱碳应用较少,亟待对技术深入研究,对世界上各种膜材料的性能做出研究和评价。基于以上目的,某气田建设了1座可作为通用测试平台的膜分离脱碳试验装置。在简述气体膜分离技术的原理、应用和天然气膜分离脱碳技术的基础上,详细介绍了该膜分离脱碳试验装置的建设背景、建设情况、装置试验目的、装置规模和组成、膜元件以及试验装置的流程及自控系统等的设置情况。为膜分离脱碳技术的掌握提供了试验平台。

关键词:气体膜分离;膜分离脱碳;长岭气田;试验装置

DOI:10.3969/jl.issn.1006-5539.2013.06.013

0 前言

20世纪70年代末至今,气体膜分离技术经过迅猛发展,已成为一种比较成熟的工艺技术。具有能耗低、操作简单、装置紧凑、占地面积小等优点^[1],目前已广泛应用于石油、石化、合成氨等领域的气体分离和提浓。在天然气处理方面,气体膜分离技术主要应用在天然气脱碳、脱水和提氮上。近年来随着膜材料以及预处理技术水平的迅速提升,膜分离脱碳技术已经成熟。

用于气体分离的膜材料主要为半渗透的非多孔介质膜,由高分子材料或有机物制成。气体在膜中渗透遵循的是溶解-扩散机理,当气体透过膜时,首先与膜接触,再在膜表面溶解,从而在膜两侧表面产生浓度梯度,使气体分子在膜内向前扩散,到达膜的另一侧,被解析出来^[2]。膜分离的基本原理正是利用不同气体在膜中溶解扩散速率的差异来实现混合气体的组分分离。

天然气膜分离脱碳是利用CO₂渗透速率比CH₄等烃类大,能较快速地渗透过膜,达到脱除天然气中CO₂的目的。

1 天然气膜分离脱碳技术

1.1 膜元件的种类

目前,用于天然气膜分离的膜材料主要有醋酸纤维素、聚酰亚胺^[3]、极性橡胶、全氟玻璃膜等。天然气脱碳膜分离元件主要有螺旋卷式分离器和中空纤维式分离器两种。

螺旋卷式分离器是由平板膜制成卷型放入管状容器内,具有较高的渗透流量和膜的承压能力,适合于压力较高的原料气处理。抗污染能力较强、结构简单、造价低廉、装填密度较高、气体分布和交换效果良好,但其渗透气流程较长,膜清洗困难^[4]。

中空纤维式分离器的核心部件是一束中空纤维丝,中空丝的直径、长度和填充量决定膜面积大小。特点是结构紧凑,膜装填密度较高,在处理量相同时,其装置尺寸比螺旋卷型的小,单位膜面积的制造费用较低,耐压稳定性高。由于管束直径较小,用来传输渗透气,如果渗透气流量过大,则会导致管束内压力显著下降而影响膜的分离效率;同时对原料气的预处理要求较高,纤维管中的压力损失较大^[4]。

收稿日期:2013-10-25

基金项目:中国石油天然气集团公司重点工程资助(Z2009-1)

作者简介:王远江(1972-),男,四川南充人,高级工程师,学士,从事油气加工工程设计工作。

1.2 天然气膜分离脱碳流程

天然气膜分离脱碳的工艺流程分为一级、二级和多级膜分离流程。一级膜分离流程是最简单的流程,见图1。原料气经膜分离处理系统后分离为低压富含CO₂的渗透气和高压富含烃类的渗余气。

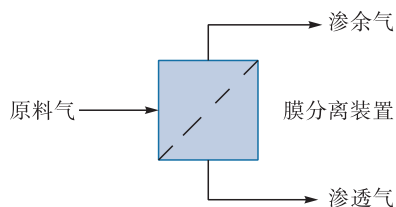


图1 一级膜分离工艺流程

一级膜分离流程的不足之处是烃类气体的损失较大。当需要大量脱除天然气中的CO₂时,不宜采用该流程,可采用渗余气二级膜分离流程,以降低烃损失率并大幅降低产品气中的CO₂含量,见图2。

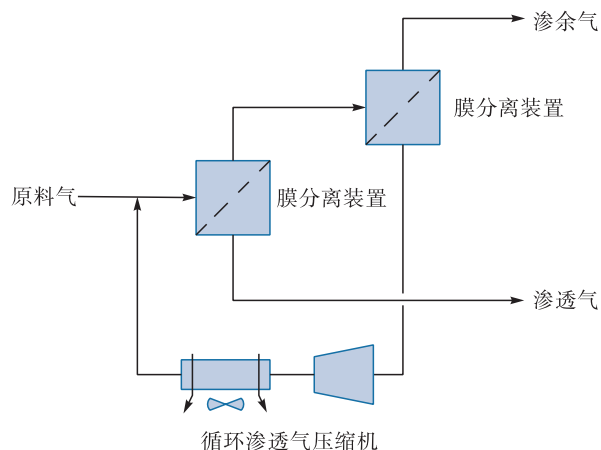


图2 渗余气二级膜分离流程

为了降低天然气中烃类损失或当原料气压力较低时,可采用渗透气二级或三级膜分离流程。渗透气二级膜分离流程见图3。

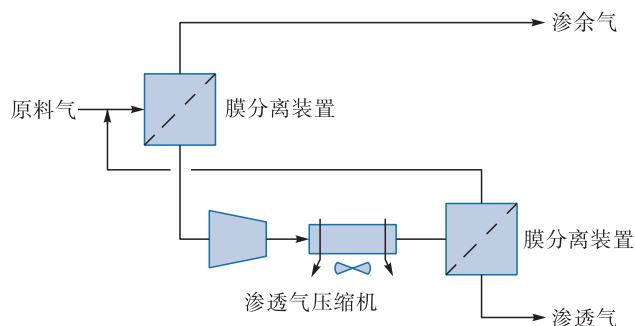


图3 渗透气二级膜分离系统工艺流程

2 膜分离脱碳试验装置建设

为掌握和储备天然气膜分离脱碳技术,促进我国高

含CO₂天然气脱碳技术和油田CO₂驱地面配套技术的进步,中国石油于2011年5月在某气田天然气净化站建设了一套膜分离脱碳试验装置,该试验装置由中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司采用EPC方式建设,目前已建成并投产试运。该装置的建设旨在为不同种类、不同厂家生产的膜元件性能测试和评价提供一个统一的平台,并对膜分离脱碳工艺进行研究。

试验装置可在相同的预处理设施条件下,测定不同膜元件在各种原料气压力、温度和CO₂含量等工况条件下的膜分离效率、产品气中甲烷和烃回收率、渗透气中CO₂含量以及膜的稳定性等性能参数,用于评价膜的性能。

试验装置能用于不同CO₂含量的天然气进行膜分离脱碳试验,试验目的:

- a)考察不同供货商、不同材料、不同形式的膜性能。
- b)考察不同工艺流程脱碳效果、烃损失等情况,优选合适的膜分离脱碳工艺流程。
- c)考察不同工艺参数对膜的性能的影响。
- d)优选不同CO₂含量天然气的脱碳工艺方案。

3 膜分离脱碳试验装置的设置

3.1 装置规模及组成

某气田净化站膜分离脱碳试验装置设计处理规模为含CO₂天然气5×10⁴ m³/d(20℃,101.325 kPa,后同)。装置采用撬装化布置,由CO₂配气压缩机撬、配气撬、预处理撬、卧式二级膜分离撬、立式二级膜分离撬和渗透气压缩机撬6个撬组成。

3.2 膜元件

为满足对不同厂家膜的安装和测试,试验装置设置有卧式和立式两种安装形式的膜分离器,两种膜分离器均为两级膜,并分别撬装布置。卧式二级膜分离撬的一级设置1根DN采用200×5 000、二级设置1根DN 200×5 000的卧式膜管,一级膜管可安装2根膜元件,二级膜管可安装1根膜元件。立式二级膜分离撬,每级设2根DN 200×2 000的立式膜管,每根膜管安装1根膜元件。

作为一个通用的测试平台,不同膜厂家可根据试验装置的膜管尺寸,选择或定制满足本装置膜管要求的膜元件,通过更换膜管中的膜元件来进行测试,无需更换整个膜分离系统。

试验装置膜分离元件初期已采购了四种材料及形式的膜,其中三种卧式膜为卷式橡胶膜、卷式玻璃膜、中空玻璃膜,一种立式膜为中空PEEK纤维膜。

3.3 试验流程

3.3.1 原料气的配气

试验装置的原料气CO₂含量按3%~80%(φ)的设计,综合考虑在油田采用CO₂回注驱油过程中,一旦CO₂突

破后,油田伴生气中 CO_2 含量将大幅提高,可能达80%左右的情况。某气田净化站进站原料气中A组天然气 CO_2 含量为20%~30%(φ),B组天然气 CO_2 含量<1%,为了试验处理 CO_2 含量为3%~80%(φ)的天然气,试验装置设置了 CO_2 配气压缩机和配气橇,将某气田净化站 CO_2 干燥装置(2.3 MPa)产生的干 CO_2 经增压后与A组天然气(或B组天然气)进行掺混,配制成试验所需的 CO_2 含量的原料气,供膜分离试验装置使用。

3.3.2 原料气的预处理

用于天然气处理的膜材料为半渗透的非多孔介质膜,由高分子材料或有机物制成。天然气中携带的固体杂质会堵塞膜孔或膜管,损害膜材料。液体(水和烃)在膜表面上的积累会引起膜性能损坏甚至完全丧失。

常规的预处理措施为去除气体中的固体杂质、液态水和烃,通过加热或冷凝脱烃后加热方式使原料气中水和烃不饱和,以避免在膜分离过程中产生冷凝。

在对多家膜供货商进行咨询后,根据试验原料气重烃含量少的气质条件,试验装置设置两级原料气预处理设施,每级处理设施均包括:旋流分离器(分离精度 $>30\text{ }\mu\text{m}$)、微粒过滤(过滤精度 $>0.3\text{ }\mu\text{m}$)、聚结过滤器(过滤精度 $>0.3\text{ }\mu\text{m}$)、活性炭过滤器和加热器(加热后气体温度为 $60\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$),能基本满足不同气质条件和不同膜的要求。

试验装置根据流程需要设置有两级预处理设施,预处理设施的最大处理能力为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

3.3.3 膜分离流程

本试验装置原料气中 CO_2 含量测试范围为3%~80%(φ),针对目前常用膜分离脱碳工艺流程:一级膜分离、渗透气二级膜分离工艺和渗余气二级膜分离工艺均可进行试验,以进行工艺流程的优选。在流程设置上可通过切换阀门来实现三种流程的分别试验。渗透气二级膜分离工艺见图4,渗余气二级膜分离工艺见图5。

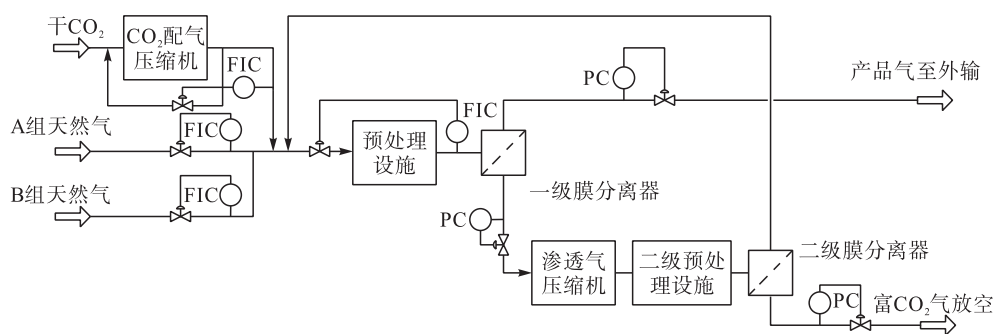


图4 渗透气二级膜分离工艺流程

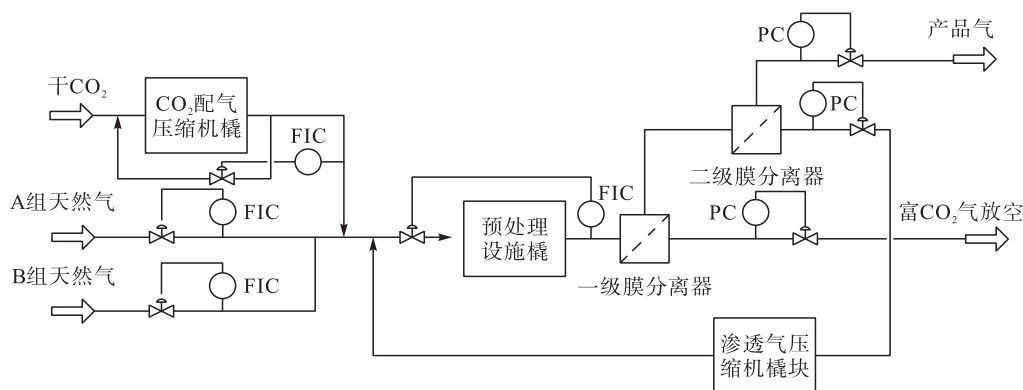


图5 渗余气二级膜分离工艺流程

3.3.4 自控方案

试验装置设置远程终端装置(RTU, Remote Terminal Unit), RTU完成实验过程的数据采集、检测、控制、存储及管理。配气压缩机和渗透气压缩机各自带现场就地PLC控制盘, PLC控制盘的数据信息通过RS485通信方式上传至试验装置控制系统RTU。试验人员可根据RTU存储的各项数据,对试验过程及结果进行分析,用以判

别各种膜的性能。

主要的检测及控制回路:

a)对配气前的各路原料气分别进行流量计量,根据总流量设置流量控制回路。

b)在配气后进入膜分离前的原料气管线上设置在线 CO_2 分析仪,以便配制不同 CO_2 含量的气体,并对其进行膜分离试验。

c)对进入一级、二级膜的气体及经过各级膜的渗透气、渗余气进行流量计量。

d)对进入一级、二级膜的气体设置温度调节回路,以满足进入各级膜的气体温度要求。

e)对一级、二级膜的渗透气、渗余气设置压力调节回路,保证不同的膜在不同的压力条件下进行试验工作。

3.4 试验参数

3.4.1 进装置原料气条件

进试验装置的原料气为某气田A组或B组天然气与增压干CO₂气体调配后的含碳天然气,其工艺参数:

a)流量 $\leq 5 \times 10^4$ m³/d。

b)进装置温度15~40℃。

c)进装置压力3.5~5.7MPa。

d)CO₂含量3%~80%(φ)。

3.4.2 进膜分离器原料气条件

a)固体和液体杂质 ≤ 0.3 μm。

b)进膜分离器温度60~80℃。

c)水露点和烃露点 ≤ 40 ℃。

3.4.3 产品气(渗余气)条件

a)出装置压力 ≤ 2.5 MPa(调压后)。

b)CO₂含量 ≤ 3 %(φ)。

c)水露点 ≤ -10 ℃(在出装置压力条件下)。

3.4.4 渗透气条件

a)一级膜分离器压力 >0.20 MPa。

b)二级膜分离器压力 >0.20 MPa。

4 结论

随着我国多个高含CO₂气田的开发,以及某油田EOR注气采油扩大试验的深入,在CO₂循环利用方面,膜分离脱碳技术的应用前景非常看好,该膜分离脱碳试验装置的建成投产,必将对膜分离技术在国内天然气处理方面的应用起到巨大的推动作用。

参考文献:

- [1] 缪 晖. 膜分离技术的发展及应用[J]. 天然气与石油, 2004, 22(3): 46-48.
Miao Hui. The Development and Application of Membrane Separation Technology[J]. Natural Gas and Oil, 2004, 22(3): 46-48.
- [2] 时 钧, 袁 权, 高从堦. 膜技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Shi Jun, Yuan Quan, Gao Congjie. Membrane Technology Handbook [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [3] Lewis A. 膜分离优化天然气净化[J]. 天然气与石油, 1997, 15(3): 22-24.
Lewis A. To Optimize the Natural Gas Purification by Membrane Separation [J]. Natural Gas and Oil, 1997, 15(3): 22-24.
- [4] 陈 勇, 王从厚, 吴 鸣. 气体膜分离技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 90-91.
Chen Yong, Wang Conghou, Wu Ming. Gas Membrane Separation Technology and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011. 90-91.

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊著作权使用费用与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《天然气与石油》编辑部