

膜分离与变压吸附耦合工艺提氦试验研究

邹彦荣¹, 张瑾^{2,3,4*}, 孙启邦², 罗宗敏⁵, 徐徜徉⁵

(1. 中石化绿源地热能开发有限公司, 雄安 071800; 2. 中国石化华北油气分公司采气二厂, 咸阳 712000;
3. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 西安 710065; 4. 西安石油大学 陕西省油气成藏地质学重点实验室,
西安 710065; 5. 天邦膜技术国家工程研究中心有限责任公司, 大连 116000)

摘要:我国氦气资源贫乏, 主要依靠进口。近年来, 已在多个盆地发现2种不同类型的氦气资源, 其中含氦天然气资源丰富但品位低, 地热水溶性伴生氦气品位高, 但受限于地热水的开采, 可采资源量较小, 还未到工业化利用阶段。目前国内外氦气提取主要采用深冷法技术, 应用在我国存在能耗高、经济性差的问题。在三普2号地热井开展地热水溶氦气的常温膜分离与变压吸附耦合工艺提取试验, 将体积分数为3%左右的氦气利用膜分离工艺提浓至50%左右, 提浓后的气体再利用变压吸附工艺提纯至99%以上, 通过2种技术的联合运用, 在国内首次完成了常温膜分离与变压吸附技术耦合工艺提氦试验。该技术也即将成果转化, 应用到我国的天然气田提氦, 对解决我国氦气供需矛盾、降低对外依存度具有重要的作用。

关键词:膜分离; 变压吸附; 耦合工艺; 氦气提纯

中图分类号: TQ228; TE645 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-8924(2024)02-0150-07

doi: 10.16159/j.cnki.issn1007-8924.2024.02.019

氦气是一种不可再生的稀缺战略资源, 广泛应用于医疗、电子、军工、航天等重要领域^[1-3]。目前, 从含氦天然气田中提氦是工业化生产氦气的唯一来源。我国为贫氦国家, 氦气资源相当贫乏, 资源品位低, 提取难度大, 成本高^[2], 同时我国又是氦气消费大国, 需求量逐年增高。近几年国内氦气需求量在4 000 t/a左右, 95%以上的氦气依赖进口, 主要进口来源包括卡塔尔、美国、澳大利亚3国, 对外依存度高, 资源安全形势十分严峻, 存在“卡脖子”的风险^[3]。解决我国贫氦的根本出路, 一是要发现新的氦气资源, 二是要创新提氦技术^[2]。近年来我国相继发现多处含氦天然气田和含氦水溶气成藏富集区。本课题组通过采用膜分离(MS)+变压吸附(PSA)耦

合工艺技术, 在地热井上开展水溶性氦气提取试验研究, 可使产品氦气提纯到99.0%以上, 达到工业氦级别。该方法与目前国内外含氦天然气田普遍采用的“深冷法”相比较具有流程简单、投资少、易操作、能耗低、维护简单等特点, 具有良好的应用前景, 可以推广到含氦天然气田提氦。其经济、高效的氦气提取技术将为我国氦气资源的开发利用提供一种全新的开发思路, 具有重要的现实意义。

1 我国氦气资源现状

据美国地质勘探局在2017年公布的数据, 我国的氦气资源量约为 $11 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[2-4], 仅占世界的2%左右。近年来随着社会对氦气的需求逐年增长, 对油

收稿日期: 2023-08-30; 修改稿收到日期: 2023-10-10

基金项目: 陕西省2018年重点研发计划项目(2018ZDXM-SF-021)资助

第一作者简介: 邹彦荣(1980-), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事地热资源综合开发利用与水溶氦气提取技术研究与应用工作。*通讯作者: E-mail: 675726268@qq.com

引用本文: 邹彦荣, 张瑾, 孙启邦, 等. 膜分离与变压吸附耦合工艺提氦试验研究[J]. 膜科学与技术, 2024, 44(2): 150-156.

Citation: Zou Y R, Zhang J, Sun Q B, et al. Experimental study on helium extraction by membrane separation and PSA coupling process[J]. Membrane Science and Technology(Chinese), 2024, 44(2): 150-156.

气田伴生氮气资源的开发和勘探也提上日程。目前除四川威远气田外,已陆续在松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地等几个主要含油气盆地发现了含氮天然气,但目前仅有威远气田含氮天然气(含氮 0.18%,壳源成因)和鄂尔多斯盆地北部东胜气田含氮天然气(含氮 0.108%)得到部分开发利用,氮气年产量不足 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$,远不能满足国内需求。未能大规模开发的主要原因包括氮气含量普遍偏低,采用深冷法提氮能耗高、经济性差等。

需要指出的是,近年来在渭河盆地发现的水溶性氮气是氮气资源的新类型。1974 年,原地矿部第三石油普查勘探大队(简称三普)在渭河盆地西安凹陷周至断块的渭深 13 井首次发现富氮气体(含氮 2.13%~4.14%,平均 3.0%)。2005 年以来,通过对盆地 77 口地热井伴生氮气含量检测,氮含量(体积分数,下同)大于 1%的井占总井数 50%以上,最高达 9.226%(工业品位为 0.1%),且分布范围较广,说明水溶性氮气在渭河盆地普遍存在^[5-7]。

2 提氮技术介绍

目前,全世界主要氮气来源均取自含氮天然气,主要提取分离方法有深冷法和常温法 2 种工艺技术。

2.1 深冷工艺

目前在深冷提氮工艺中主要有 2 种工艺应用较为广泛,分别是:克劳特循环工艺和膨胀制冷+氮气循环制冷分离工艺^[8-9]。深冷法在国外有广泛的应用,全球 5 大氮气供应商(普莱克斯公司、空气产品公司、林德公司、液化空气集团、岩谷气体公司)均有自己的深冷法提氮技术^[10-11]。该方法适于从大规模原料气中直接提取氮气,一次收率高并且运行稳定。缺点是投资和能耗相对较高,对天然气中的氮含量要求较高(下限 0.1%)。

近年来,液化天然气(LNG)产业兴起,氮气可在 LNG 尾气中富集,进一步提高了这一过程的经济性,液化天然气中闪蒸气(LNG-BOG)提氮工艺应运而生,该工艺主要是利用大型液化天然气装置中的闪蒸气开展氮气提取,技术思路还是依托低温深冷来实现,仍属于深冷法,只适宜在液化天然气厂采用。卡塔尔和阿尔及利亚采用该方法从 LNG 工厂的尾气中提取氮气,使提氮的成本大幅度降低。

从目前我国各油气盆地含氮天然气资源调查的结果来看,我国天然气中氮含量普遍较低,常规深冷工艺能耗大,经济性差,而 LNG-BOG 提氮虽然有效的降低了成本,但目前取氮规模小,不足以解决我国对氮气需求的根本问题。只有立足于源头提氮,才是摘掉我国贫氮国帽子的根本之道。

2.2 常温工艺

常温提氮工艺又分为膜分离法(MS)、变压吸附法(PSA)和吸附法,应用较多的主要是膜分离法和变压吸附法。虽然两者的原理不同,但都不需要经低温冷凝分离气体,在耗能和耗材方面优于深冷法。

2.2.1 膜分离法(MS)

气体分离膜通常为高分子材料,气体透过膜遵循“溶解-扩散”机理,从理论上来说所有气体分子都能透过膜,但透过速率不同,可设计具有功能选择性结构的分离膜,使目标组分优先透过膜得到分离(如图 1 所示)。膜作为两相介质之间的界面,以化学位差(如压力差)为推动力,促进或限制两相之间特定物质的传递,来实现混合气的分离。气体膜分离过程即在化学位差驱动下,把要分离的气体通过膜的选择渗透作用使其分离的过程^[12]。膜分离法正是借助它们之间在渗透速率上的差异(如图 2 所示),来实现对某种气体的浓缩和富集。可将制膜材料通过特定制备工艺制成中空纤维膜丝,把相当数量的中空纤维膜丝集结成束,装入压力容器外壳中就是膜分离器。在地热伴生水溶氮气提取中,含氮伴生气经过膜的分离作用,大部分氮气和少量杂质气体透过膜后在渗透侧富集,甲烷、氮气等非氮组分不透过膜,不减压,继续输送,因此膜分离过程氮气提取效

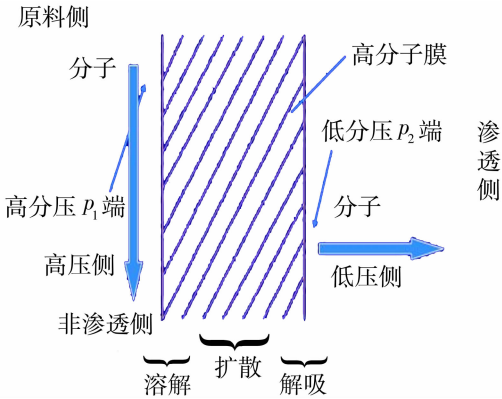


图 1 气体膜分离过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gas membrane separation process

率高、天然气压力不损失,且具有“常温分离、连续运行、设备简单、低耗、高效、可模块化”等方面的技术特点和优势,该方法一般用于氦气产品的粗提。

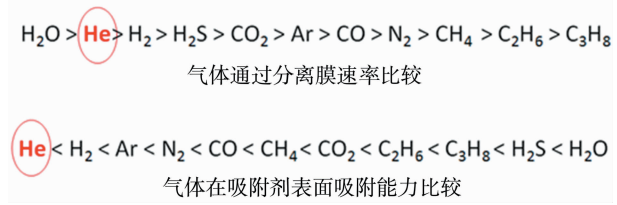


图 2 气体过膜速率和吸附能力比较
Fig. 2 Comparison of gas film passing speed and adsorption capacity

2.2.2 变压吸附法(PSA)

变压吸附法(PSA)是利用吸附剂对不同气体分子吸附量、吸附速率、吸附推动力等方面的差异(图 2)以及吸附剂的吸附容量随压力的变化而变化的特性,在加压时完成混合气体的吸附分离,在降压条件下完成吸附剂的再生,从而实现气体分离及吸附剂循环使用的目的.该方法一般用于氦气产品的精制。

3 膜分离(MS)+变压吸附(PSA)耦合工艺提氦试验

该试验由中石化华北油气分公司采气二厂(三普)、中科院大连化物所膜技术国家工程研究中心(天邦膜技术国家工程研究中心有限责任公司)和中石化绿源地热能开发有限公司合作完成.在三普 2 号地热井(站)上,采用“膜分离(MS)+变压吸附(PSA)”技术,建立了一种新的氦气提取、提纯工艺技术方法,研制出一套常温氦气提取试验装置。

3.1 设备研发

3.1.1 提浓设备研发

(1) 采用聚酰亚胺膜分离组件为核心部件,利用气体分子透过膜速率不同的特点,设计具有选择性结构的分离膜,使氦气组分优先透过膜,达到分离目的,本次试验采用的分离膜可使氦气的过膜速率超过甲烷等气体 100 倍以上。

(2) 提取装备组成

提取装备主要由 7 个单元组成:①气-水分离单元(主要设备:气-水分离罐、集气缓冲罐、气动调节阀);②压缩单元(主要设备:低压压缩机、高压压缩机、低压缓冲罐、高压缓冲罐);③净化单元(主要设备:粗脱硫罐、精脱硫罐、脱氢罐、空压机、冷干机、缓冲罐);④膜分离单元(主要设备:一段膜分离器、

二段膜分离器、真空泵);⑤集成控制柜;⑥氦气干式气柜(主要设备:气袋 3 个);⑦集气格组(主要设备:6 组集气格,每组 15 个 40 L 钢瓶)。

3.1.2 提纯设备研发

(1) 气体吸附系统的研制
不同类型的吸附剂对不同气体的吸附力不等,动态吸附量和解吸难易程度也不相同.氧化铝类吸附剂对 H₂O 等有良好的吸附作用;硅胶对 H₂O、各种烃类杂质吸附量较大;活性炭对 CO₂、各种烃类杂质吸附量大,解吸容易;而分子筛对 CO、N₂、CH₄ 等吸附和解吸性能优良.针对来气中的主要杂质成分(CO₂、N₂、CH₄、O₂ 等),选用 JLAA-2 型活性氧化铝、变压吸附用硅胶、碘值≥1 000 活性炭、5A 分子筛组成复合吸附床层。

(2) 氦气提纯工艺设计
针对来气杂质总含量较高这一工况,采取 4 塔吸附(1 塔备用)的工艺路线,采用 VPSA(加压吸附真空解吸)技术实现氦气提纯的技术要求。

(3) 气体调质及缓冲系统的研制
气源中 CO₂ 含量较高,采取增加活性炭吸附剂装填量进行前置处理,设置缓冲罐尽量减少压缩机小气量对吸附运行压力稳定的影响。

3.2 试验条件

(1) 气源:三普 2 号井水溶气体积占取水水量 20%~30%之间,主要组成列于表 1,氦气体积分数 2.735%。

表 1 三普 2 号地热井气体组分分析表 Table 1 Analysis table of gas composition of Sanpu No. 2 geothermal well	
组分	气样体积分数/%
甲烷	13.738
乙烷	0.053
二氧化碳	11.325
氦气	2.735
氢气	0.005
氧气	0.926
氮气	71.218

(2) 水溶氦气提取装置:在三普 2 井建成的地热井水溶氦气提取试验站,能够满足提取试验研究要求。

(3) 取样容器:现场采用 500 mL 玻璃瓶加饱和盐水排水取气法,单次采集化验气样约 400 mL。

(4) 样品化验分析设备:美国安捷伦 Agilent7890B 型气相色谱仪.色谱柱为 HP-分子筛

4 m×1/8 in;载气为高纯氦气 99.999%和高纯氩气 99.999%;检测器温度 150℃,柱温 80℃,进样器温度 100℃;柱流量 19 mL/min.

(5) 分析设备用载气:99.999%氦气,99.999%氩气.

(6) 分析设备校正用标准气:执行标准为 GB/T 5274.1—2018《气体分析校准用混合气体的制备》第 1 部分,生产单位:大连大特气体有限公司.

(7) 试验压力和操作周期:现场试验压力为 0.4~0.9 MPa,真空解吸压力为 0.01 MPa,单塔吸

附时间 300~600 s,操作周期 600~1 200 s.
(8) 试验时间:2021 年 12 月—2022 年 3 月.

3.3 试验流程

试验基本流程主要包括气-水分离、增压净化、一级膜分离、二级膜分离、二次增压、变压吸附、存储等环节构成.地热水通过气-水分离,解析出的混合气体经过脱水、脱氢等净化处理后进入膜分离器,使 3%左右的氦气提浓至 50%左右,提浓后的混合气进入变压吸附设备进行提纯至 99%以上,具体工艺流程见图 3.

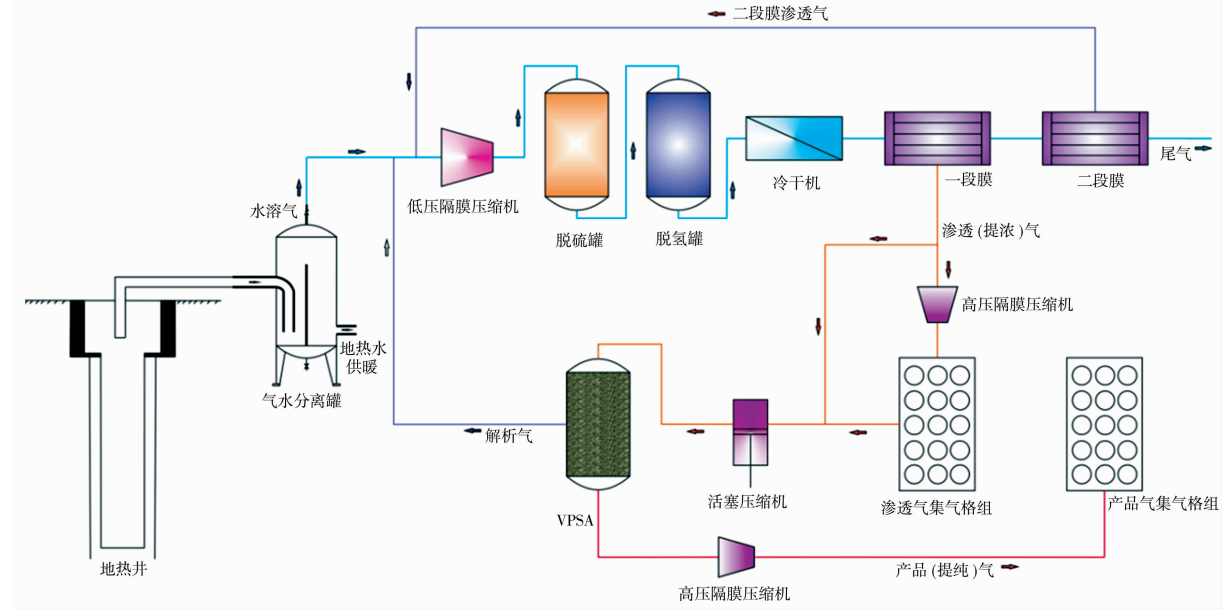


图 3 水溶氦气提取、提纯工艺全流程图

Fig. 3 Complete flow chart of water soluble helium extraction and purification process

3.3.1 膜分离提浓流程

地热水中解吸出的混合气体(以下简称原料气)经过过滤器、缓冲罐进入低压压缩机进行压缩,增压后的原料气经过过滤后依次通过粗脱硫罐、精脱硫罐、脱氢罐进行脱硫、脱氢.脱氢后的原料气中含有较多的水蒸气,需要进入冷干机进行降温、干燥才能达到进入膜分离器分离的条件.膜分离器是整个试验站的核心设备,原料气在一段膜分离器中进行分离,50%左右浓度的氦气在渗透侧富集,经过真空泵送到氦气干式气柜中作为产品气储存起来.少量的氦气和甲烷、氮气等混合气在渗余侧(或称非渗透侧)富集,进入二段膜分离器进一步分离,二段膜分离器的渗透侧氦气浓度较低,经过真空泵返回原料气缓冲罐.大部分的甲烷、氮气在二段膜分离器渗余侧(或称非渗透侧)富集,作为尾气送出界外.

地热水溶氦气提浓工艺流程及主要设备组成见图 4 和图 5.

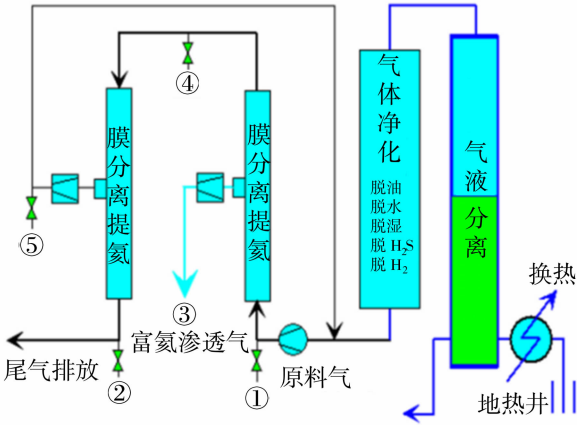


图 4 水溶氦气提浓工艺流程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of water soluble helium concentration process



图 5 水溶氦气提浓设备

Fig. 5 Water soluble helium concentration equipment

3.3.2 变压吸附提纯流程

从一段膜分离器出来的氦气体积分数 50%左右的产品气作为原料气经二次增压至 1.0 MPa 左右进入变压吸附流程,变压吸附装置采用 4 塔 VP-SA 流程(抽真空流程),进入吸附塔后,4 个吸附塔交替进行吸附、解析、再生操作,即可实现气体的连续分离与提纯,产品气(氦气体积分数 99%以上)经高压压缩机存储至钢瓶,解析气(氦气体积分数 1%左右)经真空泵抽至-0.09 MPa 以下后返回至低压压缩机前,与井口水溶气、二段膜渗透气混合,作为原料气(氦气体积分数 3%左右)再次进入流程进行分离。

地热井水溶氦气提纯工艺流程及主要设备组成见图 6 和图 7。

3.4 试验结果

试验渗透气、提纯气组分分析数据列于表 2、表 3。可以看出,水溶氦气体积分数从井口气 2.7%左右经过 MS 提浓、PSA 提纯后,提纯气体积分数稳定至 99.0%以上,最高达 99.5%,达到工业氦(GB/T 28123—2011)标准,在国内首次完成了“常温 MS+PSA”技术耦合工艺提氦试验。

通过 2 种技术的联合运用,可同时实现氦气分离的高收率、高纯度操作。总体而言取得了较为理想的结果,达到了试验目的,为氦气提取利用提供了新的技术手段,打开了氦气提取利用的新局面。

表 2 水溶氦气提浓试验组分分析结果

Table 2 Composition analysis results of water soluble helium concentration test

样品名称	组分体积分数/%							
	甲烷	乙烷	丙烷	二氧化碳	氦气	氢气	氧气	氮气
渗透气 1	2.722	0.007	0.000	36.530	49.162	0.131	0.417	11.032
渗透气 2	2.322	0.006	0.000	40.449	47.575	0.087	0.352	9.208
渗透气 3	2.270	0.004	0.000	41.281	47.010	0.104	0.349	8.983
渗透气 4	2.176	0.005	0.000	45.141	43.712	0.106	0.299	8.560
渗透气 5	2.266	0.006	0.000	46.440	41.753	0.117	0.311	9.108

3.5 存在问题及优化方案

由于本次试验在国内尚属首次,没有类似试验数据作为参考,主要存在两个方面的问题:一是针对水溶氦气组分特征选用的吸附剂均为通用催化剂,针对性相对较弱,影响吸附效果;二是为方便流程改造,均采用卡套连接影响了整个流程气密性,导致氦气纯度不能进一步提高。后续可通过针对不同气体组分优选专业吸附剂和优化各类吸附剂配比提高吸附的针对性,提高吸附效果;采用焊接工艺连接方式改进现有试验装置,减少空气进入,进一步提高产品氦气纯度。

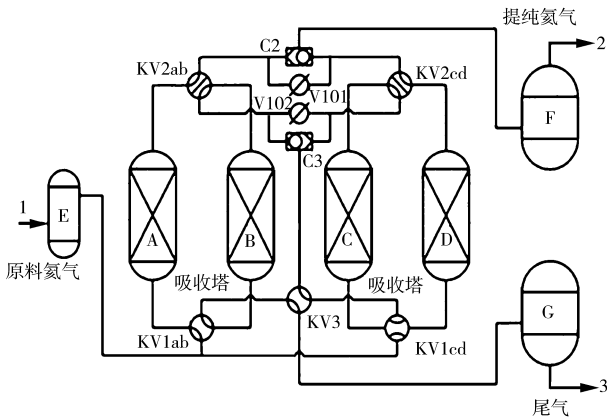


图 6 水溶氦气提纯工艺流程示意图

Fig. 6 Schematic diagram of water soluble helium purification process;



图 7 水溶氦气提纯设备

Fig. 7 Water soluble helium purification equipment

表 3 水溶氦气提纯试验组分分析结果

Table 3 Composition analysis results of water soluble helium purification test

样品 名称	组分体积分数/%							
	甲烷	乙烷	丙烷	二氧化碳	氦气	氢气	氧气	氮气
提纯气 1	0.034	0.000	0.000	0.086	99.072	0.000	0.066	0.742
提纯气 2	0.075	0.000	0.000	0.021	99.321	0.000	0.067	0.517
提纯气 3	0.035	0.000	0.000	0.018	99.373	0.000	0.125	0.448
提纯气 4	0.036	0.000	0.000	0.034	99.015	0.000	0.245	0.670
提纯气 5	0.034	0.000	0.000	0.014	99.506	0.000	0.063	0.383

4 结论

本次水溶氦气常温“常温膜分离(MS)+变压吸附(PSA)”技术耦合工艺提氦试验,在国内尚属首次,打通了地热井水溶氦气提取/提浓/提纯工艺技术路线,试验产品达到工业氦级标准.该试验的成功为“品位高、低产量”的地热伴生水溶氦气资源的开发利用提供了可能,提出了“地热+氦气”综合开发利用的新模式,对进一步精细化利用自然资源有重要意义.

同时,针对我国天然气中氦气含量普遍偏低,采用深冷法提氦能耗高、设备复杂、开发成本较高的特点,采用“常温膜分离(MS)+变压吸附(PSA)”技术耦合工艺为天然气田直接提氦提供了新的技术路线.该技术已应用于东胜气田提氦工程,研制成功国内首套原料气全流程“膜分离技术提氦”工业化装备,其经济、高效的氦气提取技术对于我国氦气资源的开发利用具有重要的现实意义.

参考文献:

[1] 张福礼,孙启邦,王行运,等.渭河盆地水溶氦气资源评价[J].地质力学学报,2012,18(2):195—202.
[2] 邹彦荣,张瑾,刘隽民,等.咸阳地热田水溶氦气资源

评价与开发利用前景分析[J].城市地质,2021,16(3):298—305.

[3] 何发岐,王付斌,王杰,等.鄂尔多斯盆地东胜气田氦气分布规律及特大型富氦气田的发现[J].石油实验地质,2022,44(1):1—10.
[4] 张文,李玉宏,王利,等.渭河盆地氦气成藏条件分析及资源量预测[J].天然气地球科学,2018,29(2):236—244.
[5] 张瑾,邹彦荣,陈淑惠,等.咸阳市区富氦水溶气组分特征及成因分析[J].非常规油气,2020,7(1):38—43,8.
[6] 陶小晚,李建忠,赵力彬,等.我国氦气资源现状及首个特大型富氦储量的发现——和田河气田[J].地球科学,2019,44(3):1024—1041.
[7] 李玉宏,王行运,韩伟.陕西渭河盆地氦气资源赋存状态及其意义[J].地质通报,2016,35(2):372—378.
[8] 龙增兵,琚宜林,钟志良,等.天然气提氦技术探讨与研究[J].天然气与石油,2009,27(4):28—31.
[9] 陈华,蒋国梁.膜分离法与深冷法联合用于从天然气中提氦[J].天然气工业,1995,15(2):71—73.
[10] 李均方,何琳琳,柴露华.天然气提氦技术现状及建议[J].石油与天然气化工,2018,47(4):41—44.
[11] 彭桂林,龚智,章学华.氦气提纯技术发展现状与应用分析[J].低温技术,2012,40(6):4—7.
[12] 孙翀,李洁,孙丽艳,等.气体膜分离混合气中二氧化碳的研究进展[J].现代化工,2011,31(S1):19—23.

Experimental study on helium extraction by membrane separation and PSA coupling process

ZOU Yanrong¹, ZHANG Jin^{2,3,4}, SUN Qibang², LUO Zongmin⁵, XU Changyang⁵

- (1. Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd., Xiong'an 071800, China;
2. No. 2 Gas Production Plant of Sinopec North China Oil and Gas Branch, Xianyang 712000, China;
3. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an710065, China; 4. Shaanxi
- Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University,Xi'an 710065, China;
5. Tianbang National Engineering Research Center of Membrane Technology Co., Ltd., Dalian 116000, China)

Abstract: China is short of helium resources and mainly relies on imports. In recent years, two different

types of helium gas resources have been discovered in multiple basins. Helium containing natural gas resources are abundant but of low grade, while geothermal water soluble associated helium gas has high grade. However, due to the limitation of geothermal water extraction, the recoverable resources are relatively small and have not yet reached the stage of industrial utilization. At present, deep cooling technology is mainly used for helium extraction at home and abroad, which has problems of high energy consumption and poor economic efficiency when applied in China. This article presents an experimental study on the extraction process of water-soluble helium using a room temperature membrane method. Membrane separation at normal temperature and pressure swing adsorption (PSA) coupled process of geothermal water soluble helium extraction was carried out in Sanpu No. 2 geothermal well. It has enriched the concentration of helium with volume fraction of about 3% to about 50% through membrane separation, and the concentration of enriched helium is further improved to more than 99% by pressure swing adsorption process. The experiment of helium extraction, through coupling process of membrane separation at normal temperature and pressure swing adsorption technology, has completed with a great success for the first time in China. This technology is about to be transformed and applied to natural gas field extraction in China, which plays an important role in solving the contradiction between helium supply and demand in China and reducing external dependence.

Key words: membrane separation; pressure swing adsorption; coupling process; helium purification

(上接第 139 页)

Research on anti-fouling nanofiltration membranes for deep treatment of landfill leachate

CHEN Bozhi¹, MA Yue¹, LI Lu¹, FU Zhengjun¹,
WANG Long², YU Kai¹, SUN Shipeng²

(1. Nanjing Weihua Membrane Technology Co., Nanjing 211899, China;

2. College of Chemical Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: As of 2021, the annual production of municipal solid waste in Chinese cities reached a staggering 150 million tons, with leachate from waste treatment accounting for approximately 25%–30% of the waste volume. With the gradual increase in environmental protection requirements imposed by the government, there is an urgent need for advanced treatment of leachate. Nanofiltration membranes, characterized by unique pore sizes and charge effects, exhibit high separation precision for small organic molecules and divalent ions, making them promising for deep treatment of landfill leachate. However, membrane fouling has always been one of the inevitable key issues in the application of nanofiltration membranes. In this project, the anti-fouling nanofiltration membrane (AMNF-8040) produced by Nanjing Weihua Membrane Technology Co., Ltd. was employed to perform deep treatment on the leachate from a municipal landfill in Huainan, Anhui Province. The AMNF-8040 nanofiltration membrane achieved a COD_{Cr} retention rate of over 96.5% and an ammonia nitrogen retention rate of over 89.8% in the leachate. The treated water quality far exceeded national standards. Compared to a foreign brand of nanofiltration membrane used during the same period, the AMNF-8040 membrane demonstrated superior anti-fouling performance and exhibited good long-term stability. Therefore, the AMNF-8040 anti-fouling nanofiltration membrane shows broad prospects for application in the field of deep treatment of landfill leachate.

Key words: nanofiltration membrane; landfill leachate; anti-fouling