

# Study on the Status of Shale Gas Development Fracturing and Returning Liquid Treatment in Southwest China and Its Emission Standard

Li Xiang, Debin Huang, Jianxun Kang, Rui Xu

China Coal Science and Technology Group Chongqing Design and Research Institute Co. Ltd., Chongqing  
Email: 7643108@qq.com

Received: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2019; published: Aug. 29<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Shale gas is an unconventional natural gas that exists in organic mud shale and its interlayers and is mainly in the form of adsorption and free state. It is an important unconventional natural gas resource and has become an important component in the field of oil and gas resources. In part, it will become an important strategic resource to fill the gap in natural gas supply for a long period of time, and provide energy security for the sustainable development of China's economy. However, in the process of mining, shale gas needs to consume a large amount of fresh water resources, and at the same time, it generates a large amount of shale gas-splitting and liquid-discharge wastewater. The shale gas mining has great environmental pressure and properly solves the fracturing flowback during shale gas development. The problem of liquid water pollution is the key to the development of the shale gas industry. At present, a large number of fracturing return fluids have not been effectively disposed of in Southwest China. On the basis of investigating a large number of fracturing return fluids disposal policies and disposal status quo, this paper puts forward the disposal methods of fracturing return fluids in Southwest China.

## Keywords

Shale Gas, Fracturing, Backflow, Discharge Treatment

---

# 西南地区页岩气开发压裂返排液处理现状及达标排放研究

向力, 黄德彬, 康建勋, 徐瑞

中煤科工集团重庆设计研究院有限公司, 重庆  
Email: 7643108@qq.com

收稿日期: 2019年8月3日; 录用日期: 2019年8月22日; 发布日期: 2019年8月29日

## 摘要

页岩气是赋存于有机质泥页岩及其夹层中, 以吸附和游离状态为主要存在方式的非常规天然气, 是一种重要的非常规天然气资源, 已成为油气资源领域重要的组成部分, 并将成为未来很长一段时期填补天然气供应缺口的重要战略性资源, 为我国经济的可持续发展提供能源保障。然而页岩气在开采的过程中需要消耗大量的淡水资源, 同时又产生大量的页岩气压裂返排液废水, 页岩气开采环保压力大, 妥善解决页岩气开发时压裂返排液水污染问题是影响页岩气产业发展的关键。目前西南地区大量压裂返排液尚未被有效的处置, 本文在调查大量的压裂返排液处置政策及处置现状基础上, 提出了西南地区压裂返排液的处置方式。

## 关键词

页岩气, 压裂, 返排液, 污染处理

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 页岩气压裂返排液水质特点

2012年, 国家发改委和能源局批复设立“四川长宁-威远和滇黔北昭通国家级页岩气示范区”, 示范区位于四川盆地蜀南地区, 分为长宁、威远、昭通三个区块, 涉及四川自贡、内江、宜宾、云南昭通地区, 其中黄金坝、紫金坝、大寨由中国石油天然气股份有限公司浙江油田分公司天然气勘探开发事业部负责实施。

油田开采过程中产生的压裂返排液是石油天然气企业的主要污染源之一[1]。本研究针对示范区页岩气开采情况, 选取了示范区内两个平台页岩气压裂返排液进行取样检测, 检测结果见表1。

表1表明: 页岩气压裂返排液以水和砂为主(含量约占压裂液总量的98%以上), 黏度大、悬浮物含量高、含油量高、含化学添加剂量大且种类多(含量约占压裂液总量的1%~2%)、废水色度较高(外观为黄色到黑色浑浊的不透明液体)、稳定性高, 故处理难度较大。压裂返排液中主要成分是高浓度胍胶和高分子聚合物等, 其次是硫酸盐还原菌(SRB)、硫化物和铁等, 总铁、总硫含量都在20 mg/L左右[2]。同时还混合有各类化学添加剂和高溶解固体, 其中化学添加剂主要包括酸液、杀菌剂、润滑剂、稠化剂、表面活性剂、阻垢剂等; 高溶解固体主要为钙、镁、硼、硅、铁、锰、钾、钠、氯离子和碳酸盐等, 还有一些来自气藏岩层的天然放射性物质如铀、钍及其衰变产物。其次, 返排液中化学需氧量(COD)值高、色度高、悬浮物含量高, 使得处理达标排放难度大、费用高, 被业界普遍认为是最难处理的工业污水之一。可以说, 如何减少水资源消耗量、合理处置页岩气开发中产生的大量返排液已成为页岩气规模化开发的瓶颈问题之一[3][4]。

**Table 1.** Shale gas pressure cracking and drainage water quality test results in the demonstration area  
**表 1.** 示范区内页岩气压裂返排液水质检测结果

| 离子                             | mg/L   | mmol/L | %     | 项目                 | mg/L     |
|--------------------------------|--------|--------|-------|--------------------|----------|
| K <sup>+</sup>                 | 310    | 7.9    | 1.1   | 可溶性总固体             | 42,966   |
| Na <sup>+</sup>                | 15,500 | 674    | 93.2  | 游离 CO <sub>2</sub> | 2.2      |
| Ca <sup>2+</sup>               | 491    | 24.50  | 3.4   | F                  | 1.24     |
| Mg <sup>2+</sup>               | 129    | 10.60  | 1.5   | Al                 | <0.01    |
| Fe <sup>3+</sup>               | 11.6   | 0.62   | 0.1   | Cr <sup>6+</sup>   | <0.004   |
| Fe <sup>2+</sup>               | 22.5   | 0.81   | 0     | Cu                 | <0.009   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   | 81.8   | 4.53   | 0.6   | Pb                 | <0.010   |
| 总计                             | 16,546 | 723    | 100   | Zn                 | <0.001   |
| Cl <sup>-</sup>                | 26,100 | 736    | 98.9  | As                 | <0.0002  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | 1.27   | 0.03   | 0.0   | Mn                 | 0.388    |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 470    | 7.70   | 1.0   | Hg                 | <0.00005 |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>  | 0      | 0      | 0     | Cd                 | <0.001   |
| OH <sup>-</sup>                | 0      | 0      | 0     | 挥发性酚               | 0.068    |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 23.2   | 0.37   | 0.1   | 氰化物                | <0.002   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   | <0.004 | 0      | 0     | Se                 | <0.0003  |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | <0.1   | 0      | 0     | Ag                 | <0.003   |
| 总计                             | 26,594 | 744    | 100.0 | 阴离子合成洗涤剂           | 0.812    |
| pH 值                           | 6.9    | 色度     | 100   | 石油类                | 1.39     |
| 气味                             | 无      | 浊度     | 340   | COD                | 1280     |

## 2. 页岩气压裂返排液处理现状及存在的问题

### 2.1. 页岩气压裂返排液处理现状

据美国环保署的统计,石油和天然气开发过程中产生的废水处置方式主要包括以下几种:深井灌注、市政污水处理厂处理后外排、脱盐工艺处理等[5][6]。本研究对四川长宁-威远和滇黔北昭通国家级页岩气示范区以及示范区周边云、贵、川、渝地区页岩气勘探开发压裂返排液处理现状进行了调研,各区块压裂返排液处置措施汇总如下表 2。

### 2.2. 各处理方式存在的问题

本研究结合西南地区各页岩气开采区块压裂返排液处理现状,对各处理方式存在的问题统计如下:

#### 1) “最大程度回用、暂存、回注”处理方式存在的问题

##### ① 压裂返排液回注,现场贮存和运输过程均存在较大的环境隐患

四川地区已布置有多个钻井废水、气田废水、试修废水、压裂返排液、酸化压裂废水等回注井,压裂返排液多依托现有的回注井进行回注处理,该处置方式主要集中于四川境内,但受压裂返排液回用指标限制,需要进行现场预处理、稀释回用、与其他水源水配伍、与添加剂之间配伍等处理工序,压裂返

排液进行回注需通过管道或者罐车运输至预处理站处理后再进行回注，运输途中，存在罐车发生交通事故、管道泄漏等因素，可引起水源污染、土壤污染等环境事故的发生。大量的压裂返排液如果不能合理有效地处理而随意排放或回注地层，会对地表土壤或地下环境、地表水系、农作物等自然环境造成严重污染和资源浪费[7][8]，同时受页岩气开发各平台间接续时间调度安排限制，压裂返排液现场贮存周期长，存在很大的突发环境风险隐患。

**Table 2.** Status of fracturing and returning liquid disposal in each block

**表 2.** 各区块压裂返排液处置现状

| 序号 | 区块      | 处置现状                    |
|----|---------|-------------------------|
| 1  | 长宁区块    | 最大程度回用、暂存、回注            |
| 2  | 云南区块    | 最大程度回用、暂存、回注            |
| 3  | 内江区块    | 最大程度回用、暂存、回注            |
| 4  | 内江区块    | 最大程度回用、暂存、回注            |
| 5  | 永川区块    | 最大程度回用、暂存，依托地方污水处理厂处理排放 |
| 6  | 涪陵焦石坝区块 | 最大程度回用、暂存               |
| 7  | 贵州区块勘探  | 最大程度回用，处理达标排放           |
| 8  | 昭通区块    | 最大程度回用、暂存、回注            |

② 压裂返排液回注不符合“SYT 6881-2012 回注工程设计规范”中“同层回注”的规范要求，存在环境安全隐患

回注处理压裂返排液虽保障了压裂返排液不外排，环境最优，但部分回注井为原常规天然气枯竭井改建而来，回注页岩气压裂返排液不符合“SYT 6881-2012 回注工程设计规范”中“同层回注”的规范要求，同时在地层中长期存储，同样存在环境安全隐患。

此外，由于页岩气压裂返排液为地层水力压裂后的返排液体，受地层岩性化学成分影响，返排液中带有气藏岩层的天然放射性物质如铀、钍及其衰变产物等不确定的化学成分(2018年6月13日，环保部组织的《非常规油气田环境管理国际研讨会(2018)》中已对上述研究成果达成共识)，回注非龙马溪组地层(目前页岩气主力开采地层)，极易造成地层的不稳定，回注环境影响不可控。另外，四川昭通地区压裂返排液回注地层主要为茅口组地层，而该区域茅口组地层为温泉水开采地层，如四川宜宾筠连巡司温泉等，昭通地区回注处理压裂返排液极易造成茅口组地热资源的压覆，地方环保部门对回注井的审批已相当慎重，已相当难申请批准新的回注井项目。

③ 压裂返排液回注不符合相关法规的要求，部分地区已禁止压裂返排液回注处理

在部分地区，如云南和贵州的环境管理部门认为利用回注井回注压裂返排液涉嫌违反《中华人民共和国水污染防治法》第三十五条：禁止利用渗井、渗坑、裂隙和溶洞排放、倾倒含有毒污染物的废水、含病原体的污水和其他废弃物。在贵州、云南、重庆地区，按照环境管理规定压裂返排液不得采用回注方式处理。

2) “最大程度回用、暂存，依托地方污水处理厂处理排放”处置存在的问题

受“不得回注”环境管理要求限制，贵州、云南、重庆地区压裂返排液主要采取此种处置方式，该种处置方式存在现场长时间贮存环境安全隐患以及地方污水处理厂处理能力不够、处理工艺不能满足等问题。由于压裂返排液具有高粘度、高溶解固体(TDS)、高化学需氧量(COD)、高氯离子浓度等特点，同时

由于压裂返排液中添加的杀菌剂、表面活性剂等,采用微生物生化处理工艺的地方污水处理厂完全没办法处理压裂返排液,目前,压裂返排液多以稀释排放方式违法违规处理了,页岩气建设单位同样也存在环境违法法律风险。

### 3) “最大程度回用,处理达标排放”处置方式存在的问题

在重庆、云南、贵州等现阶段页岩气主力勘探区,受井位分散,压裂返排液转运距离远、没有适合的回注井等因素限制,主要采用撬装模块化设备,深度处理压裂返排液实现达标排放。但此处理方式存在处理规模较小、处理成本高、污水排放地点不确定,环境管理难度大等问题。单平台压裂返排液处产生量较大,1套设备对应1个平台压裂返排液处置,撬装膜滤深度处理设备连续稳定性较差,因此该方法仅在页岩气勘探井等少数新区块开发初期压裂返排液没有回用途径的地区使用,适用区域范围小。

## 3. 政策导向

1) 《关于油田回注采油废水和油田废弃钻井液适用标准的复函》(环函[2005]125号,原国家环境保护总局):2005年4月14日原国家环境保护总局《关于油田回注采油废水和油田废弃钻井液适用标准的请示》的复函,石油开采废水处置方式分为回注或达标排放两种,分别执行回注水质标准和《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。

2) 《石油天然气开采业污染防治技术政策》(公告2012年第18号):该技术政策中,对污染治理措施提出了:“在钻井和井下作业过程中,鼓励污油、污水进入生产流程循环利用,未进入生产流程的污油、污水应采用固液分离、废水处理一体化装置等处理后达标外排”,提出的钻井和井下作业废水处理措施为处理后达标外排,回注方式未被“鼓励”采用。

3) 页岩气储层改造第3部分:压裂返排液回收和处理方法(NB/T 14002.3-2015,国家能源局):该能源行业标准中第3.3.1条“压裂返排液处置工艺宜采用回用、回注及地表排放方案,并结合工程实际比较后确定”。

4) 《重庆市页岩气勘探开发行业环境保护指导意见(试行)》(2016年9月1日,重庆市环境保护局):首次对废水处理处置提出“压裂返排液回用于配制压裂液,回用不完的,应处理达标后排放,严禁偷排漏排、稀释排放或回注”,严禁压裂返排液采用回注方式处理。

5) 《四川省页岩气开采业污染防治技术政策》(2018年2月1日,四川省环境保护厅):该技术政策指出压裂返排液优先进行回用,不能回用的应就近或集中处理达标后排放;对采取回注处理方式的,提出了“应充分考虑其依托回注井的完整性,注入层的封闭性、隔离性、可注性,以及压裂返排液与注入层的相容性,确保环境安全。依托的回注井相关手续须齐全,运行监控管理制度须健全”等极为严格的环境管理要求。2018年,四川长宁天然气开发有限责任公司报送的《长宁页岩气田年产50亿立方米开发方案建设项目环评》从送审版的“压裂返排液回注处理”修改为报批版的“压裂返排液处理达标排放”。可见,四川地区对压裂返排液回注方式持谨慎态度,环境管理上倾向于倒逼企业采取措施处理达标排放。

6) 非常规油气田环境管理国际研讨会:环境保护部环境工程评估中心联合中国石油安全环保技术研究院、美国环保协会于2018年6月13日在北京举办了“非常规油气田环境管理国际研讨会(2018)”,参会人员包含生态环境部环评司以及部评估中心石化部主要部门以及各地环境工程评估中心负责人。与会专家普遍认为回注不便于环境管控,只是暂时的控制了污染,没有从根本上消除污染,并且回注可能会存在更多的环境安全隐患,比如地震、压覆矿产资源、影响以后可能会被利用的地下水资源等。

综上所述,从环境管理、技术政策、环保指导意见、理论研究等方面看,石油天然气行业废水回注方式环境管理要求越来越高、环境技术控制越来越精细,整体呈收缩态势,从国家和行业层面,更鼓励和支持科技创新、技术进步,将石油天然气行业废水如压裂返排液,进行处理达标后排放,以便于环境管理。

#### 4. 压裂返排液的处置动向

1) 贵州、云南、重庆的页岩气探井压裂返排液采用深度处理达标排放：利用井场污水池充当调节池，首先采用加药的方法，调节废水的 pH 值，并使废水中的 SS 和大多数有害成分絮凝沉降。絮体通过板框压滤机压榨后实现泥水分离，污泥进行无害化处理；而压滤出水和絮凝分离出的水则通过 UF 超滤系统、SRO 超级反渗透系统、RO 反渗透膜进行深度固液分离；由于压裂返排液中的氯离子浓度较高，采用反渗透工艺进一步去除氯离子，从而实现废水处理达标排放。目前，中石化采用撬装处理设备已经成功完成了贵州、重庆部分等探井的压裂返排液现场处理达标排放工作。

2) 中石化西南油气分公司荣昌~永川区块页岩气开发利用：2018 年 1 月 12 日，中石化西南油气分公司获批实施荣昌~永川区块页岩气开发利用，对区块压裂返液采用最大程度回用和集中处置达标排放措施，计划 2020 年建成并投运压裂返排液污水处理站处理区块压裂返排液，处理能力 1000 m<sup>3</sup>/d，确保废水全部处理达标排放。

3) 长宁页岩气田宁 201 井区返排液处理：鉴于《长宁页岩气田年产 50 亿立方米开发方案建设项目环评》“压裂返排液处理达标排放”的审批意见，2018 年 9 月 29 日，四川长宁天然气开发有限责任公司启动了宁 201 井区返排液处理招标工作，拟对长宁区块返排液采取深度处理达标排放方式处理长宁区块压裂返排液。

#### 5. 典型页岩气压裂返排液达标外排处理工艺流程

实验研究和现场应用表明，由于压裂返排液的难处理性和特殊性，仅凭单一的方法来使出水达标排放或重复利用是困难或难以实现的，因此多种化学法或化学法与其他方法的联用在压裂返排液处理工艺中被普遍采用。许剑等[9]采用高级氧化处理为主、混凝为辅的联合工艺对返排液进行处理，处理后出水达到回用和排放要求；韩卓等[10]通过“破胶-微电解-混凝-压滤”工艺处理某非常规压裂返排液，处理后的水样满足回注水水质标准。万里平等[11]采用“中和-微电解-催化氧化-活性炭吸附”4步工艺处理川中磨 140 井酸化压裂返排液，处理出水达到 GB 8978-1996 中的二级标准。我国对于页岩气勘探开发压裂返排液处理还处于实验摸索阶段，页岩气压裂返排液的处理多采用多种水处理单元组合处理，例如生物氧化法(颗粒活性污泥、SBR、SBBR、A/O、A<sup>2</sup>/O、二段接触氧化法、生物转盘、生物滴滤池、厌氧滤池等)；热处理技术(热蒸馏、蒸发和结晶)；微电解技术；高级氧化技术、膜滤技术等。典型压裂返排液处理工艺流程示意图如下图 1：

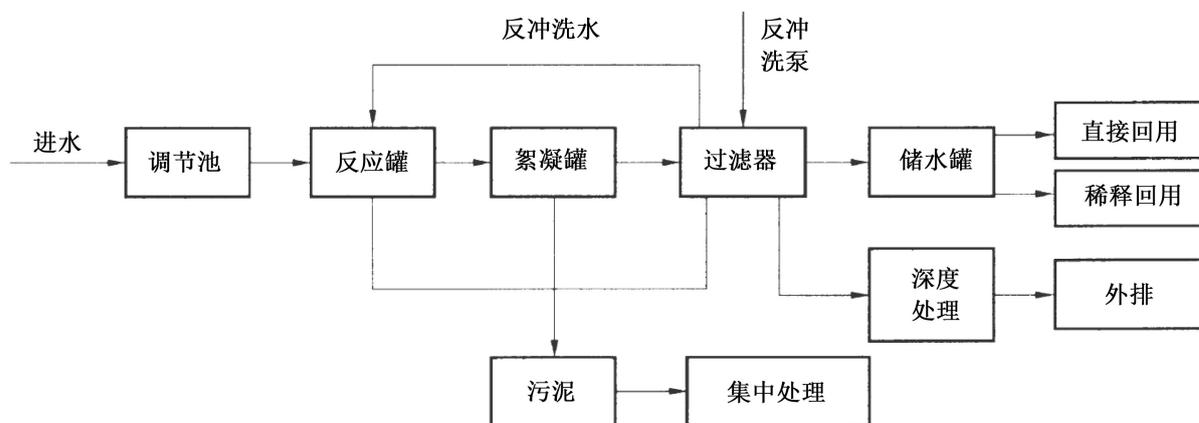
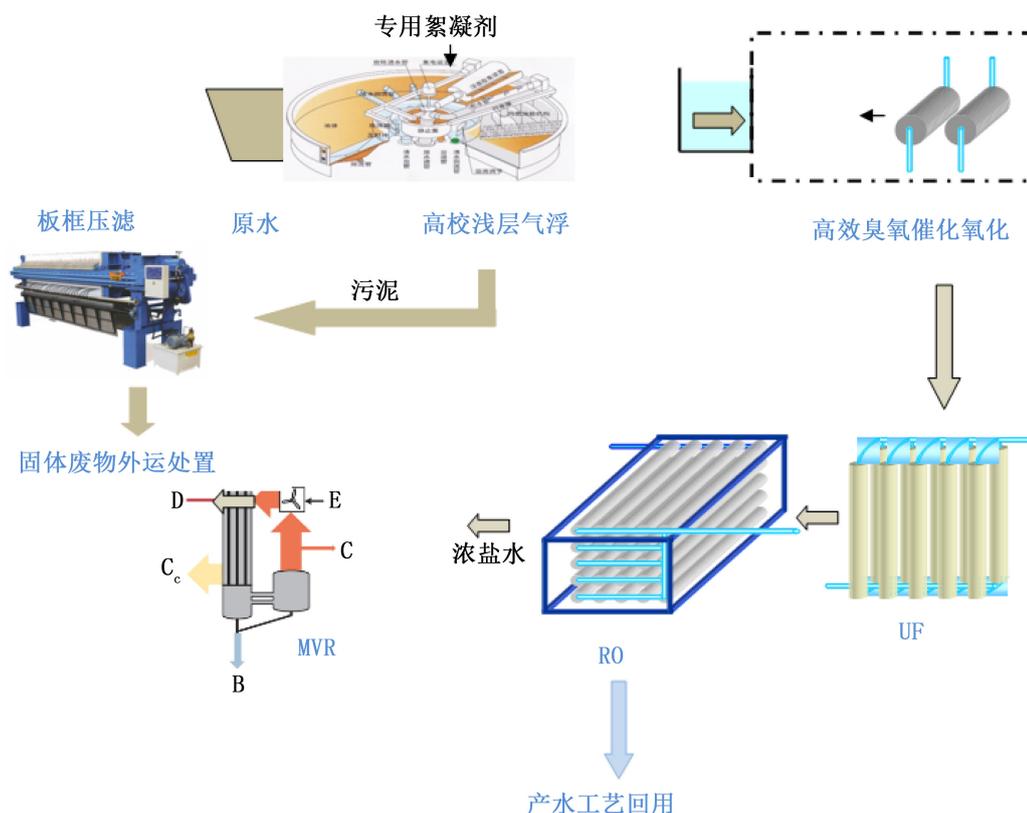


Figure 1. Schematic diagram of a typical fracturing fluid return process

图 1. 典型压裂返排液处理工艺流程示意图

## 6. 技术推荐

根据对页岩气压裂返排液取样进行分析化验, 在实验室进行中试的结果, 提出了以下工艺路线(图 2):



**Figure 2.** Shale gas flow cracking drainage sampling analysis process route  
**图 2.** 页岩气压裂返排液取样分析工艺路线

此工艺分为两大部分, 前段采用高效浅层气浮+高级氧化技术对原水中悬浮物和有机物污染进行处理, 后段双膜法(UF + RO) + MVR 技术是为了彻底消除废水中的盐分。

原水首先进入高效浅层气浮工段, 添加专用高效絮凝剂, 对原水进行处理, 去除原水中的悬浮物和悬浮性有机物, 后进入高级氧化工段, 在臭氧和催化剂的作用下去除前段无法去除的有机污染物, 经处理后, 废水中的 COD 可降至 40~50 mg/L, 为后续双膜法工段创造良好工况条件。后续超滤膜(UF)主要进一步去除废水中的胶体和细微颗粒, 保证反渗透膜系统地的稳定运行, 废水经超滤过滤后, 进入反渗透系统(RO), 废水回收率可达到 70%以上, 脱盐率 95%以上, 反渗透产水可直接工艺回用, 浓盐水进入 MVR (机械式二次蒸汽再压缩蒸发器), 将盐分固化后外运处置。

(MVR 中文意义是机械式二次蒸汽再压缩蒸发器, 在化工、制药、环保行业中广泛使用蒸发器用于把溶液浓缩或结晶。常规的蒸发器用锅炉生产的鲜蒸汽作热源, 通过换热器把溶液加热到沸点后继续加热使溶液沸腾蒸发产生二次蒸汽。溶液中的水份变成水蒸汽从溶液中蒸发分离出去, 溶液本身被浓缩。蒸发过程产生的二次蒸汽再用冷却水冷凝成冷凝水, 二次蒸汽中的热能传递到冷却水中再扩散到空气中造成热能浪费和冷却水消耗。MVR 蒸发器利用压缩机把蒸发器产生的二次蒸汽进行压缩使其压力和温度升高, 然后作蒸发器热源替代鲜蒸汽。实现二次蒸汽中热能的再利用, 使蒸发器的热能循环利用。只要提供少量的电力驱动压缩机工作不需要鲜蒸汽就能使蒸发器热能循环利用, 连续蒸发。在热力学中 MVR

蒸发器也可以理解为开式热泵。压缩机的作用不是产生蒸发需要的热量，而是输送蒸发器的热量形成热量循环。)

此工艺前段工艺主要采用高效浅层气浮+高级氧化技术对原水中悬浮物和有机物污染进行处理，后段双膜法(UF + RO) + MVR 技术是为了彻底消除废水中的盐分，以便产水可以回用或排放。

所取水样主要验证前段高效浅层气浮+高级氧化技术，经多次平行试验，经前段工艺后，废水 COD 数值可稳定在 40~50 mg/L 之间，此水质经破除臭氧后，进入双膜法工段，双膜工艺可稳定运行，产水可直接工艺回用，而浓盐水经 MVR 处理后外运处置。

根据实验验证，此工艺产水水质满足且优于污水综合排放标准(GB 8978-1996)，同时可彻底去除水中盐分，实现环境友好。

## 7. 达标排放相关问题剖析

### 1) 排放标准和排污许可证

目前还没有准确的行业排放标准，一般可执行污水综合排放标准(GB 8978-1996)，同时达标排放需取得当地环保主管部门的排污许可证，以便在相关河道上设置排污口。

### 2) 结晶盐处理

根据工艺分析，压裂返排液处置达标排放，膜浓缩液经蒸发会产生相当量的结晶盐，此结晶盐为危废，最终处置需具有危险废物处置能力企业进行委托处置。

### 3) 处理达标后的回用

压裂返排液经处理达标后，能否回用于生产，可回用那些工段，回用率能达到多少，需具体分析。

### 4) 设备

井场区域一般位置偏远，同时面积有限，设备应为模块化，集装箱式一体化设备，以便于施工安装和使用。

## 8. 工程建设模式

1) 前段高效浅层气浮+臭氧催化氧化 + UF + RO 采用模块化一体化设备处理，废水经浓缩减量后，浓缩液输送至废水集中处置中心。

2) 在页岩气集中区域建设区域废水集中处理中心，对浓缩液进行集中蒸发结晶处理，产生的结晶盐按危废处置。

## 9. 结语

目前，西南地区各板块页岩气开采已经规模化，页岩气的开采为区域的能源来源的多样化提供了重要的支撑。但西南地区环境较为敏感和脆弱，页岩气开采带来的环保相关问题，特别是压裂返排液的相关问题，亟待解决。各区块应根据压裂返排液处置现状，探索一条环境友好，生态友好，行之有效的压裂反排液处置方法。

## 参考文献

- [1] Hao, H.W., Huang, X., Gao, C.J., *et al.* (2015) Application of an Integrated System of Coagulation and Electrodialysis for Treatment of Wastewater Produced by Fracturing. *Desalination and Water Treatment*, **55**, 2034-2043. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.930700>
- [2] Khair, E., Zhang, S.C., *et al.* (2011) Performance and Application of New Anionic D3F-AS05 Viscoelastic Fracturing Fluid. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **78**, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2011.05.011>
- [3] Lutz, B.D., Lewis, A.N. and Doyle, M.W. (2013) Generation, Transport, and Disposal of Waste Water Associated with

Marcellus Shale Gas Development. *Water Resources Research*, **49**, 647-656. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20096>

- [4] 李佳, 王驰, 田慧颖. 页岩气开发中应关注的环境问题[J]. 油气田环境保护, 2012, 22(6): 42-43.
- [5] Argonne National Laboratory (2004) A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane. US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Chicago, 55-59.
- [6] Jaffrin, M.Y. (2008) Dynamic Shear-Enhanced Membrane Filtration: A review of Rotating Disks, Rotating Membranes and Vibrating Systems. *Journal of Membrane Science*, **324**, 7-25. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.06.050>
- [7] 李兰, 杨旭, 杨德敏. 油气田压裂返排液治理技术研究现状[J]. 环境工程, 2011, 29(4): 54-56, 70.
- [8] 叶春松, 郭京骁, 周为, 等. 页岩气压裂返排液处理技术的研究进展[J]. 化工环保, 2015, 35(1): 21-26.
- [9] 许剑, 李文权. 页岩气压裂返排液处理工艺试验研究[J]. 石油机械, 2013, 41(11): 110-114.
- [10] 韩卓, 郭威, 张太亮, 等. 非常规压裂返排液回注处理实验研究[J]. 石油与天然气化工, 2014, 43(1): 108-112.
- [11] 万里平, 赵立志, 孟英峰, 等. 油田酸化废水 COD 去除方法的研究[J]. 石油与天然气化工, 2001, 30(6): 268, 318-320.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)