

江苏油田伴生气净化处理研究与应用

仝飞乐, 王永芊, 季晓海, 李 凯, 吴小玉

江苏油田矿业开发有限公司, 江苏 扬州

收稿日期: 2026年9月20日; 录用日期: 2026年10月19日; 发布日期: 2026年10月29日

摘 要

油田伴生气是原油开采中的副产物, 是一种重要的非常规能源。近年来, 随着页岩油的规模开发, 油田伴生气产量逐年增加, 但由于其含水、重烃、硫化氢等组分, 杂质较多。伴生气里的烃组分, 在收集过程中容易液化造成冻堵问题, 甚至产生液击现象损坏压缩机, 严重时威胁人身安全, 因此油田伴生气的回收和利用仍面对诸多挑战。本文旨在以江苏油田矿业开发有限公司天然气分公司伴生气回收项目为例, 研究解决在油田伴生气回收过程中由于气体杂质导致的冻堵等一系列问题, 通过优化工艺方案, 对重烃组分进行不同程度液化处理, 引进自控系统, 极好地完成回收效率的提升, 保障了油田产能的释放, 提高能源利用同时提高了经济效益。

关键词

油田伴生气, 回收利用, 冻堵, 深度处理, 自动系统

Research and Application of Associated Gas Purification and Processing at Jiangsu Oilfield

Feile Tong, Yongqian Wang, Xiaohai Ji, Kai Li, Xiaoyu Wu

Jiangsu Oilfield Mining Development Co., Ltd., Yangzhou Jiangsu

Received: September 20, 2026; accepted: October 19, 2026; published: October 29, 2026

Abstract

Associated gas is a by-product of crude oil extraction and serves as an important unconventional energy source. In recent years, the large-scale development of shale oil has led to a steady increase in associated gas production; however, the gas contains significant impurities, including water, heavy hydrocarbons, and hydrogen sulfide. During the collection process, hydrocarbon components

文章引用: 仝飞乐, 王永芊, 季晓海, 李凯, 吴小玉. 江苏油田伴生气净化处理研究与应用[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(10): 1667-1674. DOI: 10.12677/aep.2026.1610167

in the associated gas are prone to liquefaction, causing issues such as freeze-blocking and even liquid hammer—which can damage compressors and, in severe cases, pose safety risks to personnel. Consequently, the recovery and utilization of associated gas present numerous challenges. Taking the associated gas recovery project of the Natural Gas Branch of Jiangsu Oilfield Mining Development Co., Ltd. as a case study, this paper investigates solutions to problems—such as freeze-blocking—caused by gas impurities during the recovery process. By optimizing process schemes, implementing varying degrees of liquefaction treatment for heavy hydrocarbon components, and introducing automated control systems, the project successfully enhanced recovery efficiency, ensured the release of oilfield production capacity, and improved both energy utilization and economic returns.

Keywords

Oilfield Associated Gas, Recovery and Utilization, Freeze-Blocking, Deep Processing, Automated System

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

随着技术和经济的快速发展，天然气作为一种清洁低碳高效的化石能源，是构建新型能源体系的主要能源，在中国能源系统转型过程中作为新能源的“伙伴能源”，发挥重要作用[1]。油田伴生气作为重要非常规能源，产量逐年递增，但其利用率较低，大量伴生气被直接排放，导致资源浪费，加剧环境污染和温室效应，与可持续发展理念背道而驰[2]。

1.2. 研究意义目的

1.2.1. 节能减排

伴生气回收利用，生气乱排放造成的环境污染、生产安全问题，还可以降低油田生产的运行成本[3]，符合油田节能减排的发展目标。

1.2.2. 安全环保

伴生气回收利用是油气田绿色生产的重要举措，通过将原本放空燃烧的伴生气进行有效收集和资源化利用，不仅能够实现清洁化生产、降低碳排放，更能从根本上消除因直接排放导致的安全隐患。既符合当前碳达峰碳中和的环保要求，又能通过资源循环利用创造经济效益，真正实现了安全生产与环境保护的双赢。

1.2.3. 助力产能释放

伴生气回收是释放页岩油井产能、提升油田开发效率的关键技术手段。通过高效回收利用伴生气，不仅能够维持地层压力、改善油气流动条件，从而提升单井产量，还能优化能源利用结构，降低生产能耗。此外，伴生气回收可减少气体排放对储层的负面影响，避免因压力衰竭导致的产能下降，实现页岩油藏的高效、稳定开发。不仅提高了油田整体采收率，还增强了能源开发的可持续性，为页岩油经济高效开发提供了重要支撑。

1.2.4. 提升经营效益

伴生气的回收、净化处理、压缩及销售形成了完整的资源化产业链，能够创造显著的经济效益。通过高效回收井口伴生气，并经过脱水、脱硫等净化工艺处理，可将其转化为符合管输或液化要求的商品气；再经压缩增压后，既可回注地层维持压力以提高采收率，也可作为清洁能源外销，开辟新的利润增长点。这一过程不仅减少了资源浪费，还通过能源商品化实现了油气田的增值运营，实现碳交易。

2. 油田伴生气概述

2.1. 定义成分

油田伴生气随原油共生，在石油地质系统中，伴生气普遍存在于含油层系中，但其组成比例因地质条件而异。在原油开采过程中，伴生气作为必然产物随原油一同产出[4]，其产量受储层特性和开发方式影响。该气体主要由甲烷(CH₄)、乙烷(C₂H₆)、丙烷(C₃H₈)、丁烷(C₄H₁₀)和戊烷(C₅H₁₂)等饱和烃类组成，具有高热值和良好的化学反应活性，因而在能源供应和石油化工领域具有重要应用价值。

2.2. 排放与影响

贫富程度不同的伴生气通过油井套管、油气分离等环节进入大气，形成气态污染物[5]，其排放往往达不到国家气体排放标准，加剧环境污染。

2.3. 油田伴生气回收现状

2.3.1. 回收现状介绍

江苏油田矿业开发有限公司天然气分公司现有压缩机共计 13 台，干燥塔 7 台，分离器 13 台，脱硫塔 4 台。其中高压压缩机 9 台、中压压缩机 4 台，压缩机能够满足 0.1~0.7 Mpa 油井伴生气的收集，收气能力 16.8 万方/天，目前收气量 6 万方/天(图 1)。

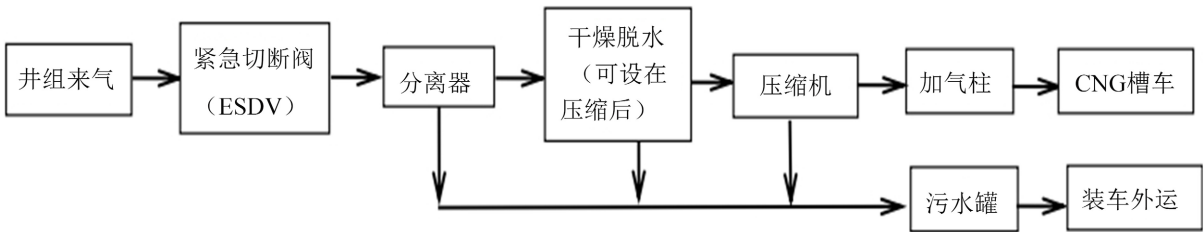


Figure 1. Main process flow of associated gas recovery
图 1. 伴生气回收主要流程

2.3.2. 技术局限性

(1) 气质现状:

油田伴生气含水、氮气、二氧化碳、重烃等组分，杂质较多，且含有硫化氢。

(2) 收集过程冻堵问题

伴生气里的烃组分，在温度和压力作用下容易液化，另外，由于高速流动、搅动、高压脉动等因素的影响，天然气在管道弯头、变径、针阀、孔板、粗糙的管壁等特定位置也很容易形成水化物[6]，发生冻堵。冻堵的主要部位：一是压缩机气路系统结冰冻堵，二是末端加气系统结冰冻堵。

水是伴生气从采出至消费过程中在各个处理或加工步骤中最常见的杂质，其含量通常为饱和状态[7]。当运输过程中的干气水露点超过规定温度，深冷装置的低温单元及外输管网就会形成水合物冻堵。对伴

生气进行脱水是管道长距离安全输送必不可少的环节，也是轻烃回收前的必要步骤，更是决定处理后所得天然气合格与否的关键[8]。

(3) 伴生气中液量大的影响

- ① 伴生气回收现场出现冻堵，压缩机局部异常高压，自动停机，无法正常生产。
- ② 伴生气含液量高，烃水混合物存于压缩气缸的余隙容积内，容易产生液击现象，液击可以在短时间内使应力通过活塞、活塞杆、十字头、连杆传递至曲轴，在曲轴和连杆连接部位产生应力集中，使连杆瓦受力变形，滑道受损，连杆扭断，导致整个动力传动系统损坏，液击堪称往复式压缩机的致命杀手。所以，伴生气脱水、解决重烃组分液化问题是正常回收伴生气的前提条件，是助力油田油井，特别是页岩油井产能最佳释放的前提，是必须解决的生产难题。

3. 净化处理系统

3.1. 深度脱水处理

3.1.1. 处理游离水

采用二级梯度分离系统实现游离水的高效脱除：一级分离阶段基于重力沉降原理，伴生气通过切向进气管形成旋流，使伴生气里的水 and 气旋流分离，大液滴在重力作用下下沉；二级分离阶段采用旋风分离技术，依托气液两相密度差异，通过高速旋转产生的强离心场实现精细分离，分离器上部配置有高效除沫器和分离伞，有效拦截液体分子，使得液体沿壁面沉降，实现气相二次分离，达到最佳分离效果(图 2)。

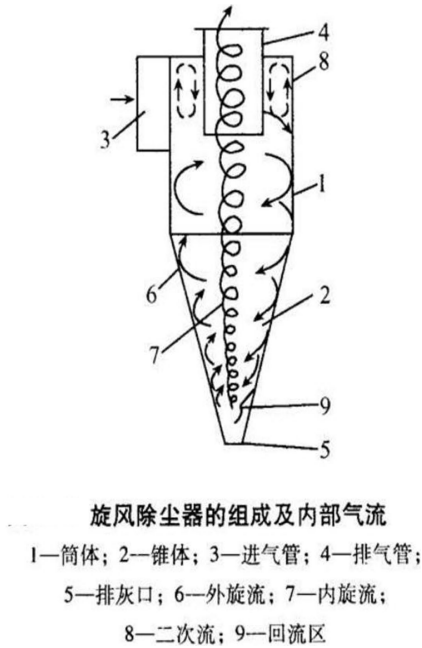


Figure 2. Application of vertical gas-liquid separator
图 2. 立式气液分离器应用

3.1.2. 处理饱和水

采用等压再生分子筛深度脱水装置，等压再生方式脱水是在吸附塔出口取干气，经加热器加热至 200℃ 后进入再生塔，加热吸有水分分子筛，使水分从分子筛脱附；脱附后进入冷却器降温使水分液化，然

后进入分离器气液分离，分离后的天然气回到吸附塔入口重新吸附干燥，如此循环直至再生塔水分排净，等压再生和降压再生相比脱水更彻底，温度控制更严格，没有外排，水露点可以达到 -55°C ，干燥效果好，运行稳定(图 3)。

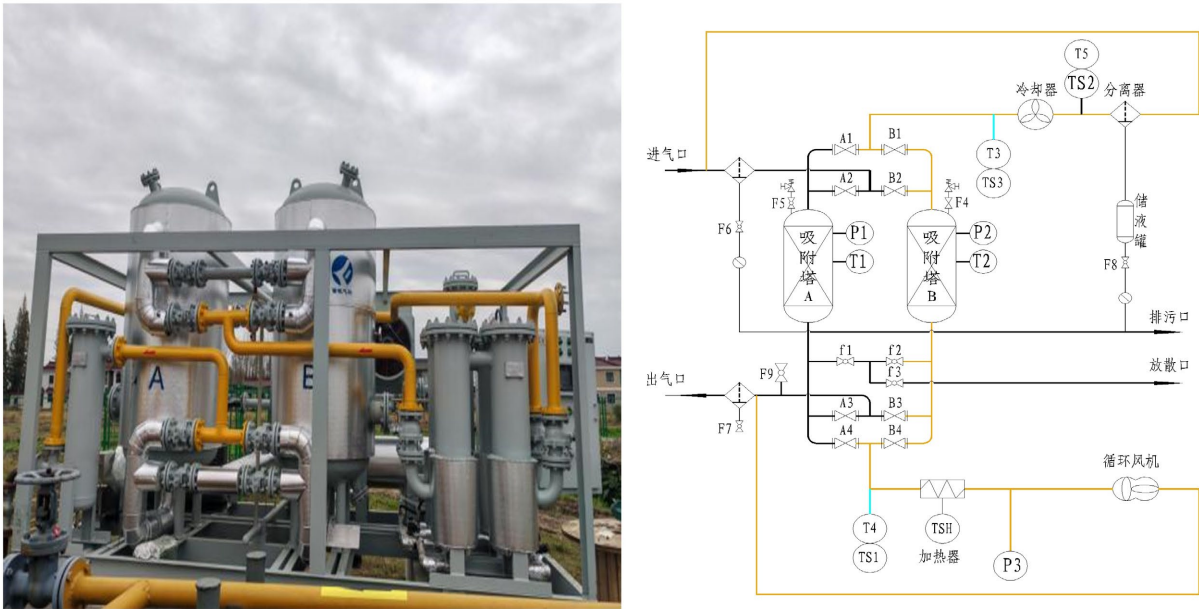


Figure 3. Application of an isobaric regeneration molecular sieve deep dehydration unit
图 3. 等压再生分子筛深度脱水装置应用

3.2. 重烃组液化处理

3.2.1. 旋风分离

研究决定加装旋风分离器。一是有利于气液分离，二是为烃水混合物提供排出通道，使烃水混合物及时排出(图 4)。

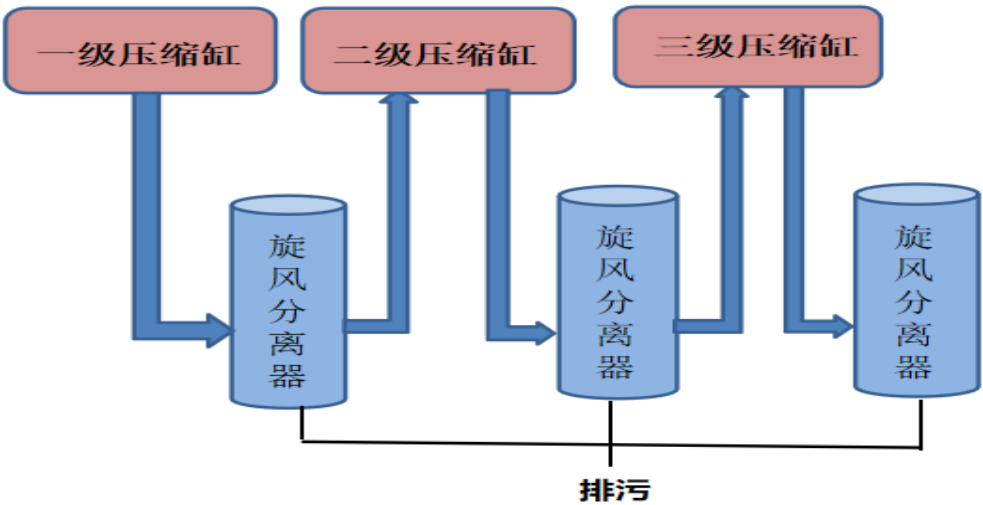


Figure 4. Application of inter-stage cyclone separators
图 4. 级间旋风分离器应用

3.2.2. 补温增焓

加装旋风分离器后，可以有效及时排出液化的重烃组分，但是在旋风分离器下半部分还是容易出现冻堵问题，经过长时间探索和研究之后，决定压缩机气路之间安装补温增焓装置，调节经过冷却器之后的气体温度，控制气体温度在 30~50℃之间，保证分离器和气路管线不冻堵(只在冬季使用)(图 5)。

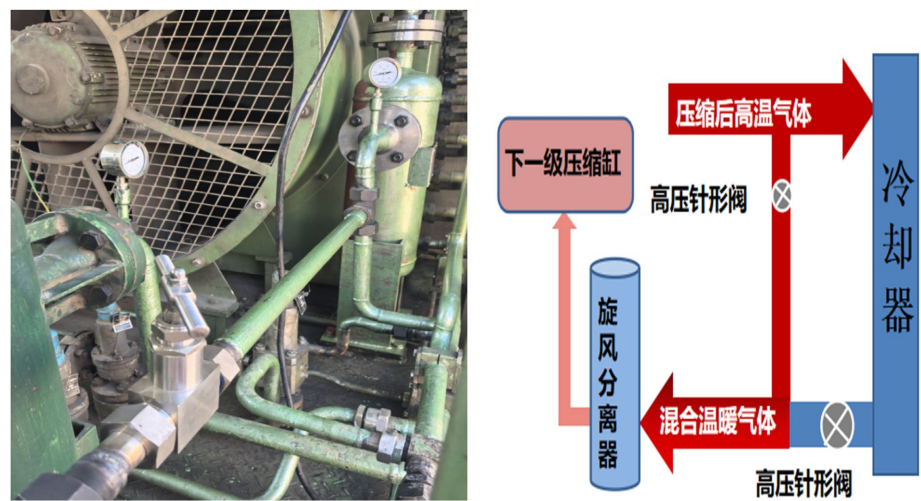


Figure 5. Application of the vapor injection and enthalpy enhancement device
图 5. 补气增焓装置应用

3.2.3. 自动排污系统

2025 年，江苏油田矿业开发有限公司天然气分公司在所有压缩机上加装了自动排污系统，可根据伴生气液量、天气温度等情况适时调节排污时间间隔和排污时间(图 6)。



Figure 6. Application of the automatic sewage supply and discharge device
图 6. 自动给排污装置应用

3.2.4. 复温器

在末端加装水浴式复温器，利用电加热器加热水介质，水介质通过不锈钢换热管，将热量传导至低

温伴生气，从而提高伴生气温度，控制末端温度在 30~50℃ 之间，使得末端分离器 - 加气柱 - 加气软管气路畅通，确保低温环境下加气工作的正常运行(图 7)。



Figure 7. Application of the water-bath rewarmer
图 7. 水浴式复温器应用

3.2.5. 变频运行

将现有压缩机全部改造升级为变频运行，根据采油厂输气管网来气压力，调节变频运行，控制压缩机排气量和压力，既可以降低功耗，又可以使压缩机保持稳定的工作状态，确保采油厂输气管网压力平稳(图 8)。



Figure 8. Application of variable-frequency system
图 8. 变频系统应用

4. 取得成效

(1) 截止至 2025 年 10 月，已完成联 30-1、联 38-2、真 13、花 24 四个收气点的伴生气脱水、旋风分

离器、补温增焓、末端复温、自动排污和变频运行的回收工艺提升,专利技术所有权全部归属江苏矿业。工艺改造后,高压压缩机运行平稳,未发生冻堵现象,有力解决了长期以来困扰伴生气回收的冻堵等问题,实现了收气现场平稳生产,保证了油田页岩油井的产能释放;

(2) 联 38-2、真 13、联 30-1 三个收气点实现变频运行,形成了相互补充、相互联动的工作机制,可通过调节频率,实现各收气点互为补充,保证真武管网压力平衡;

(3) 花 24 经过对压缩机上述改造升级,持续使用高压压缩机收气,收气量达 1.3 方/天,保障了花页 7HF、花页 11 斜页岩油井的产能释放;

(4) 据数据显示,2026 年 1~6 月份总收气量为 1950 万方,较 2025 年同比增长了 300%,极大幅度提升了油田经济效益,为实现“双碳”目标作出了积极贡献。

参考文献

- [1] 石云,潘继平,王恺,等.“双碳”背景下天然气与新能源融合发展路径及策略[J]. 油气与新能源, 2023, 35(4): 1-6.
- [2] 杨艺. 考虑分布式电源随机特性的配电网优化配置[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2018.
- [3] 卢伦淼. 用于油田地面生产的多能互补分布式供能系统研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2023.
- [4] 赵盼婷. 超高压除砂器旋流筒结构对除砂性能的影响[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2020.
- [5] 李春林. 克浅井区含硫化氢采出液密闭集输工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2015.
- [6] 徐怀东. 天然气压缩机自动控制技术探讨[J]. 中国设备工程, 2020(1): 39-40.
- [7] 李均方, 张瑞春, 陈吉刚. 改进的分子筛脱水装置在页岩气脱水中的应用[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(2): 14-18.
- [8] 王祥. 轻烃回收工艺的发展方向及新技术[J]. 化工管理, 2018(23): 100.