

ISSN 1000-0976
CN 51-1179/TE



天然气工业®
NATURAL GAS INDUSTRY

中国气田开发提高采收率专辑

2023.01
Vol.43 No.1

主办:

四川石油管理局有限公司
中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司
中国石油集团川庆钻探工程有限公司

ISSN 1000-0976



01

天然气工业(月刊)第四十三卷第一期

二〇二三年一月出版

Natural Gas Industry (Monthly) Vol.43 No.1 2023

2023年第43卷第1期

(月刊·1981年创刊 总第351期)

主 管 中国石油天然气集团有限公司
主 办 四川石油管理局有限公司
中国石油天然气股份有限公司西南
油气田分公司
中国石油集团川庆钻探工程有限
公司

编辑出版 《天然气工业》编辑部 (610051)
四川省成都市成华区府青路一段3号

主 编 杨 雨
执行主编 杨跃明 胡 勇 居维清
社 长 王良锦
副 社 长 陈水银 谷翠琳 孔 波
总 编 黄 东

投稿网址 www.cngascn.com

发行范围 公开发行

国内发行 四川省报刊发行局
(邮发代号 62—14)

国外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(发行代号 M 944)

排版印刷 成都市新都华兴印务有限公司
出版日期 2023年1月25日

中国标准连续出版物号 ISSN 1000-0976
CN 51-1179/TE
广告经营许可证号 5101034000085
国内定价 100.00 元 / 本
国外定价 25.00 美元 / 本

责任编辑 曹 丽 谭蓉蓉
装帧设计 关 洁

- Ei 收录期刊
- 中国科技期刊卓越行动计划梯队期刊
- 中国地质领域高质量科技期刊 T1 期刊
- 中国百强报刊
- 中国精品科技期刊
- RCCSE 中国权威学术期刊
- CSCD 核心期刊
- 全国中文核心期刊
- 中国科技核心期刊



中国石油学会天然气
专业委员会会刊
四川省石油学会会刊

版权所有, 未经许可, 不得转载

目 次

● 本期视点

天然气提高采收率理论基础、技术方法与发展方向

马新华, 何东博, 位云生, 郭建林, 贾成业 1

碳达峰碳中和背景下发展 CO₂-EGR 的思考

张烈辉, 曹成, 文绍牧, 赵玉龙, 彭先, 吴建发 13

四川盆地天然气藏提高采收率技术进展与发展方向

雍锐, 胡勇, 彭先, 梅青燕, 戚涛, 杨建, 李隆新,
郑伟, 陈颖莉, 李滔, 张理 23

● 地质勘探

基于多实验成像和机器学习的页岩多尺度孔隙结构表征新方法

姚军, 刘磊, 杨永飞, 孙海, 张磊 36

页岩气资源 / 储量计算中吸附参数确定的新方法

——以四川盆地五峰组—龙马溪组页岩为例

赵群, 周天琪, 王红岩, 金亦秋, 周尚文, 端祥刚 47

薄—中厚煤层群煤层气井高产的地质与工程协同控制技术

——以贵州织纳煤田文家坝区块为例

陈畅然, 周效志, 赵福平, 孟海涛, 朱世良, 赵有州, 魏元龙 55

● 开发工程

四川盆地普光高含硫气田长周期高产稳产关键技术

曾大乾, 张庆生, 李童, 宿亚仙, 张睿, 张诚, 彭松 65

常规天然气藏均衡开发理论与关键核心技术

何东博, 贾爱林, 位云生, 郭建林, 闫海军, 孟德伟,
刘华勋, 刘群明 76

天然气注储协同提高凝析气藏采收率关键技术

何新兴, 黄召庭, 廉黎明, 成荣红, 付莹, 周炜 86

鄂尔多斯盆地保德区块煤层气藏描述与提高采收率关键技术

徐凤银, 张伟, 李子玲, 张雷, 张继坤, 侯伟, 成前辉,
李永臣, 张庆丰, 郝帅, 魏振吉, 尚延洁, 赵刚 96

缝洞型碳酸盐岩凝析气藏提高采收率关键技术

孙贺东, 李世银, 刘志良, 常宝华, 沈春光, 曹雯 113

边底水碳酸盐岩气藏提高采收率的微观驱气效率

吴克柳, 朱清源, 陈掌星, 李靖, 冯东, 王牧原,
郭世强, 郭豫川 122

中国海上气田开发与提高采收率技术

张健, 李保振, 周文胜, 周守为, 朱军龙, 刘晨, 李乐忠 132

柴达木盆地涩北气田提高采收率关键技术与发展方向
李江涛, 项燚伟, 陈汾君, 邓成刚, 徐晓玲, 程鑫, 杨会洁,
谢梅, 唐启银, 王海成 141

多级压裂水平井周期性注气吞吐提高页岩油气藏采收率
——以北美 Eagle Ford 非常规油气藏为例
王勇, 汤勇, 李士伦, 刘昕 153

基于 FEM-DFN 的页岩气储层水力压裂复杂裂缝交错扩展模型
唐煊赫, 朱海燕, 李奎东 162

基于致密砂岩储层气水渗流阻力系数的产能新模型
张建中, 高树生, 熊伟, 叶礼友, 刘华勋, 朱文卿,
杨懿, 牛文特 177

行业指数

2022 年第四季度中国天然气行业景气指数分析
西南石油大学中国能源指数研究中心 188

金点子

地震波逆时偏移低波数噪声相对保幅衰减技术 12

一种用于带压修井作业的反循环洗井装置 22

漏失空间虚拟技术辅助优选低压气井封堵材料 46

超短半径柔性井下动力钻具 85

测井信息 + 数学辅助解决油气井压裂后孔眼面积均匀控制难题 152

广告目次

中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院 (23-01-01)

封面说明: 中国石油塔里木油田公司克深 101-1 井

摄影: 吕殿杰



本刊微信公众号

第九届编委会名单

主任: 张道伟 李爱民	
执行主任: 杨 雨 谭 宾	
顾问 (以姓氏汉语拼音排序):	
高德利 郭旭升 郝 芳 胡文瑞 黄维和 贾承造	
焦方正 金之钧 李根生 李鹭光 李士伦 廖仕孟	
刘宝珺 刘 合 刘清友 刘树根 罗平亚 马新华	
冉隆辉 苏义脑 孙福街 谢玉洪 赵金洲 赵文智	
周守为 邹才能	
委员 (以姓氏汉语拼音排序):	
蔡国勇 曹 剑 常宏岗 陈朝伟 陈更生 陈水银	
程 华 崔海峰 党录瑞 邓 宾 丁国生 董大忠	
段永锋 樊栓狮 范翔宇 范 宇 冯永存 付子航	
甘振维 巩 磊 巩 亮 顾 军 郭建春 郭彤楼	
何海清 何江川 何润民 何太碧 何 骁 侯明才	
胡 勇 胡东风 霍 进 贾长贵 江同文 蒋廷学	
蒋裕强 琚宜文 李广月 李洪玺 李 静 李 伟	
李熙喆 李香华 李兴春 李亚林 李兆敏 李志军	
梁 兴 刘恩斌 刘光全 刘毅军 陆朝晖 陆家亮	
路 浩 罗金恒 罗 强 罗仁泽 马天寿 聂海宽	
潘结南 庞 伟 戚志林 钱治家 秦 勇 秦永和	
任战利 苏现波 孙贺东 谭静强 童传新 汪海阁	
王成文 王建良 王念喜 王宴滨 王 震 魏国齐	
魏 纳 魏新善 吴能友 谢继容 谢 军 谢水祥	
熊建嘉 闫建平 杨洪志 杨 华 杨 晓 杨跃明	
杨 智 姚义清 尹中山 游利军 曾大乾 曾联波	
张本健 张丰收 张金川 张烈辉 赵晓明 郑力会	
钟广法 朱海燕 朱庆忠 祝效华	
Khlebnikov V.N. (俄罗斯) Kamy Sepehmoori (美国)	
Michael A. Abrams (英国) Susan Smith Nash (美国)	

第一届青年编委名单

蔡 灿 蔡益栋 陈 雷 陈 雷 陈鹏飞 陈尚斌	
陈 杨 陈志明 代由进 单长安 董 田 杜书恒	
封从军 付安庆 龚德瑜 管全中 郭晶晶 郭 岭	
郭天魁 郭迎春 韩传军 韩 辉 韩双彪 何玉发	
胡金燕 黄 东 黄 河 黄 雷 黄文君 贾 虎	
姜 仁 赖 锦 雷 刚 李 骞 李金金 李金磊	
李敬法 李森圣 李松岩 李武广 李小刚 李彦龙	
李 勇 廖志伟 刘翠伟 刘达东 刘 阳 卢 聪	
卢泓方 鲁人齐 罗万静 马志欣 毛良杰 糜利栋	
倪 军 潘 杰 潘松圻 庞惠文 裴仰文 彭 瑀	
邱 振 沈 骋 沈伟军 盛 茂 石军太 石 宇	
时 贤 宋 毅 苏关东 苏 明 苏丕波 粟科华	
孙梦迪 孙明楠 谭晓华 唐 旭 田 磊 汪 杰	
王博弘 王代刚 王高成 王 敬 王军磊 王 磊	
王 亮 王 森 王文东 王志远 王子振 位云生	
尉建功 魏 兵 魏 琳 魏明强 魏文栋 魏祥峰	
吴霁薇 吴克柳 熊 健 许成元 许玉强 许争鸣	
薛 明 闫 静 严 敏 杨 峰 杨仁锋 杨 威	
杨永飞 殷振元 游 赟 曾德智 张 超 张菲菲	
张 杰 张 涛 张逸群 张永强 赵佳飞 赵 欣	
赵 星 赵玉龙 郑 爽 钟显康 周池楼 周军平	
周俊杰 周 理 周尚文 朱建雄	

NATURAL GAS INDUSTRY

(Monthly, Started in 1981)

January 2023, Vol.43, No.1
(TOTAL No.351)

Supervisor: China National Petroleum Corporation

Sponsor: Sichuan Petroleum Administration Co., Ltd.

PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company

CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd.

Publisher: Natural Gas Industry Journal Agency

Editor-in-Chief: YANG Yu

Deputy Editor-in-Chief: YANG Yueming, HU Yong &
JU Weiqing

General Director: WANG Liangjin

Deputy Director: CHEN Shuiyin, GU Cuilin &
KONG Bo

Executive Editor: HUANG Dong

Add: No. 3, Sec. 1, Fuqing Rd., Chengdu,
Sichuan Province 610051, P. R. China

Tel: +86(28)86013013

Website: www.cngascn.com

E-mail: trqgy@trqgy.cn

Publishing Date: January 25, 2023

Annual Subscription Rates:

China CNY ¥ 1200

Overseas USD \$ 300

Overseas Distributor:

China International Book Trading Corporation

P. O. Box 399, Beijing 100044

P. R. China

Code No.: M 944

CONTENTS

SPOTLIGHTS

- Enhanced gas recovery: Theory, technology and prospect** by MA Xinhua, HE Dongbo, WEI Yunsheng, GUO Jianlin, JIA Chengye 1
- Thoughts on the development of CO₂-EGR under the background of carbon peak and carbon neutrality** by ZHANG Liehui, CAO Cheng, WEN Shaomu, ZHAO Yulong, PENG Xian, WU Jianfa 13
- Progress and prospect of enhanced gas recovery technology in the Sichuan Basin** by YONG Rui, HU Yong, PENG Xian, MEI Qingyan, QI Tao, YANG Jian, LI Longxin, ZHENG Wei, CHEN Yingli, LI Tao, ZHANG Li 23

GEOLOGY AND EXPLORATION

- A new method for characterizing multi-scale shale pore structure based on multi-experimental imaging and machine learning** by YAO Jun, LIU Lei, YANG Yongfei, SUN Hai, ZHANG Lei 36
- A novel method for determining adsorption parameters in shale gas resources/reserves calculation: A case study of the Wufeng Formation–Longmaxi Formation in the Sichuan Basin** by ZHAO Qun, ZHOU Tianqi, WANG Hongyan, JIN Yiqiu, ZHOU Shangwen, DUAN Xianggang 47
- Geological and engineering collaborative control technology for high production of CBM wells in thin–medium–thick coal seam clusters: A case study of Wenjiaba block in the Zhina Coalfield, Guizhou** by CHEN Changran, ZHOU Xiaozhi, ZHAO Fuping, MENG Haitao, ZHU Shiliang, ZHAO Youzhou, WEI Yuanlong 55

DEVELOPMENT AND PRODUCTION

- Key technologies for long-period high and stable production of the Pu Guang high-sulfur gas field, Sichuan Basin** by ZENG Daqian, ZHANG Qingsheng, LI Tong, SU Yaxian, ZHANG Rui, ZHANG Cheng, PENG Song 65
- Theory and technology of balanced development of conventional gas reservoirs** by HE Dongbo, JIA Ailin, WEI Yunsheng, GUO Jianlin, YAN Haijun, MENG Dewei, LIU Huaxun, LIU Qunming 76
- Key technologies for enhancing the recovery of condensate gas reservoirs by gas injection–storage coordination** by HE Xinxing, HUANG Zhaoting, LIAN Liming, CHENG Ronghong, FU Ying, ZHOU Wei 86
- Coalbed methane reservoir description and enhanced recovery technologies in Baode block, Ordos Basin** by XU Fengyin, ZHANG Wei, LI Ziling, ZHANG Lei, ZHANG Jikun, HOU Wei, CHENG Qianhui, LI Yongchen, ZHANG Qingfeng, HAO Shuai, WEI Zhenji, SHANG Yanjie, ZHAO Gang 96

EOR technologies for fractured-vuggy carbonate condensate gas reservoirs by SUN Hedong, LI Shiyin, LIU Zhiliang, CHANG Baohua, SHEN Chunguang, CAO Wen	113
Microscopic gas displacement efficiency of enhanced gas recovery in carbonate gas reservoirs with edge and bottom water by WU Keliu, ZHU Qingyuan, CHEN Zhangxing, LI Jing, FENG Dong, WANG Muyuan, GUO Shiqiang, GUO Yuchuan	122
Development and EGR technologies of offshore gas fields in China by ZHANG Jian, LI Baozhen, ZHOU Wensheng, ZHOU Shouwei, ZHU Junlong, LIU Chen, LI Lezhong	132
Key technologies and prospect of EGR in the Sebei Gas Field in the Qaidam Basin by LI Jiangtao, XIANG Yiwei, CHEN Fenjun, DENG Chenggang, XU Xiaoling, CHENG Xin, YANG Huijie, XIE Mei, TANG Qiyin, WANG Haicheng	141
Cyclic gas injection huff-n-puff in multi-stage fracturing horizontal wells to improve recovery of shale oil and gas reservoirs: Taking Eagle Ford Shale in North America as an example by WANG Yong, TANG Yong, LI Shilun, LIU Xin	153
A FEM-DFN-based complex fracture staggered propagation model for hydraulic fracturing of shale gas reservoirs by TANG Xuanhe, ZHU Haiyan, LI Kuidong	162
A new productivity model based on gas-water seepage resistance coefficient for tight sandstone reservoirs by ZHANG Jianzhong, GAO Shusheng, XIONG Wei, YE Liyou, LIU Huaxun, ZHU Wenqing, YANG Yi, NIU Went	177

Adhering to the principle of "Sichuan-Chongqing Roots, Chinese Researches, Global Insights", *Natural Gas Industry (NGI)* keeps striving to demonstrate the development and progress of China's natural gas industry, promote its scientific and technological development, and encourage the application of research findings. *NGI* timely reports basic research and applied technology research in upstream, middle and downstream industries of natural gas in China. With its focus on large and medium gas fields, production and research, and advanced theories, *NGI* serves for research in the science and technology of the whole industry. Columns include Spotlights, Geology and Exploration, Development and Production, Drilling Engineering, Storage, Transportation and Gas Processing, HSE, Economic Management, and New Energy Sources. *NGI* aims to build a prestigious scientific and technological journal in this industry.

To obtain the information on "*the Authors and Abstracts*", please visit the English version on our website:

http://www.cngascn.com:81/ngi_wk/EN/volumn/current.shtml