



中国地质调查局地学文献中心·中国地质图书馆

国外地学文献速递

Express Delivery of Foreign Geological Literature

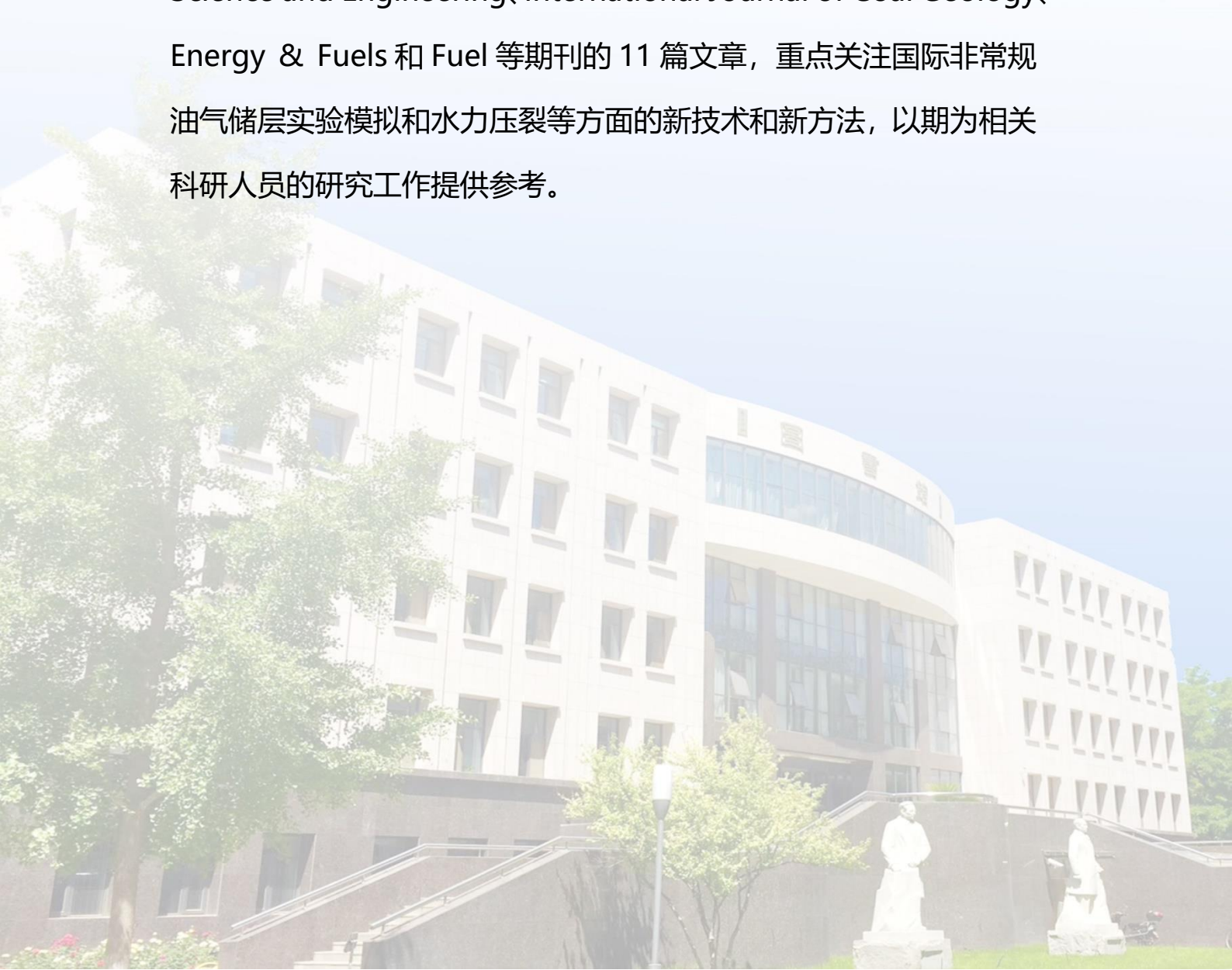
非常规油气专辑 (2021 年第 4 期)



编者按

国外地学文献速递（非常规油气专辑）是中国地质调查局地学文献中心为切实服务地质调查中心工作而推出的《国外地学文献速递》系列专辑之一。通过对国外主要文献数据库中涉及非常规油气资源的最新文献进行筛选和摘要编译形成专辑。

本专辑为 2021 年非常规油气专辑的第 4 期，收录了选自 Journal of Natural Gas Science and Engineering、Journal of Petroleum Science and Engineering、International Journal of Coal Geology、Energy & Fuels 和 Fuel 等期刊的 11 篇文章，重点关注国际非常规油气储层实验模拟和水力压裂等方面的新技术和新方法，以期为相关科研人员的研究工作提供参考。



目 录

页岩/致密油藏提高采收率的吞吐技术:进展、差距和前景.....	1
有机质对页岩吸附作用研究进展	2
储层、压裂液和支撑剂特性对支撑剂在砂岩地层中破碎和嵌入的影响	3
非常规储层无水压裂技术综述	4
水力压裂后关井对致密油藏产能和采收率的影响	5
天然气在低渗多孔介质中的吸附与存储特性	6
页岩气储层应力相关流体力学:一种孔隙网络建模方法	7
Midra 页岩孔隙尺度特征综合表征.....	8
基于地球化学、光谱学和岩相学方法的富液非常规储层烃产能分析	9
基于深度学习的裂缝性富有机质页岩中碳封存图像模拟	10
Marcellus 页岩孔隙变形对单轴和静液应力循环的响应:对天然气采收率的影响	11



获取更多地学文献信息, 请关注“移动图书馆”

本刊由“地学文献信息更新与服务”项目支持

专辑主编: 陈 杨

审 校: 宋韦剑

审 核: 王学评

联系电话: (010)66554751

联 系 人: 陈 杨

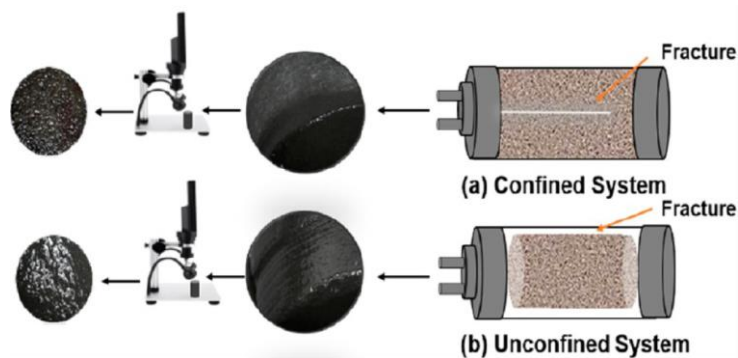
电子信箱: chenyang@cgl.org.cn

页岩/致密油藏提高采收率的吞吐技术:进展、差距和前景

Huff-n-Puff Technology for Enhanced Oil Recovery in Shale/Tight Oil Reservoirs: Progress, Gaps, and Perspectives

■ 摘要译文

进入21世纪以来,随着常规油气资源不断枯竭,全球能源需求快速增长,这激起了全球学者和油气生产者寻找替代石油资源的兴趣。为了满足日益增长的能源需求,石油公司投入了大量精力开发过去几十年一直很少关注的非常规油气藏。尽管页岩油开发在过去十年中取得了巨大的成功,但快速下降的油流量和孔隙中的滞留油的开发挑战仍然持续存在。为了提高页岩油采收率,目前已经进行了大量的尝试,但关于采油机理的资料相对较少,特别是在油田方面。此外,使用常规方法进行的吞吐实验(H-n-P)不能准确反映现场条件,且得出的结果具有误导性,其使用的岩心并没有在真实的储层条件下进行模拟,使得关键参数的含义不清楚。因此,本文对非常规油藏提高采收率(EOR)方法的可行性进行了全面而具体的研究。除了指出目前在页岩/致密油藏中应用H-n-P技术的有效性和实验结果的一些关键缺陷外,还提出了提升油田潜能的相关改进技术。本文研究分为几个部分,每部分详细分析了一个特定的H-n-P程序的作用,如最佳注入溶剂的机理及影响H-n-P采收率的关键因素。在第一部分和第二部分,简介了页岩油和致密油藏,介绍了相关技术应用的历史及其目前存在的问题。在引言部分,说明本综述是如何填补该领域的关键空白的。在评价研究中,重点关注了H-n-P、相关参数和有效过程。在最后的最后部分,回顾了精细挑选的实验结果和应用工具,突出了争议并陈述了“差距”。



图解摘要

■ 作者信息

Muhend Milad, Radzuan Junin, Akhmal Sidek, Abdulmohsin Imqam, and Mohamed Tarhuni

Department of Petroleum Engineering, School of Chemical and Energy Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Johor Bahru, Malaysia

本文发表于: Energy Fuels

2021年第35卷 17279–17333页

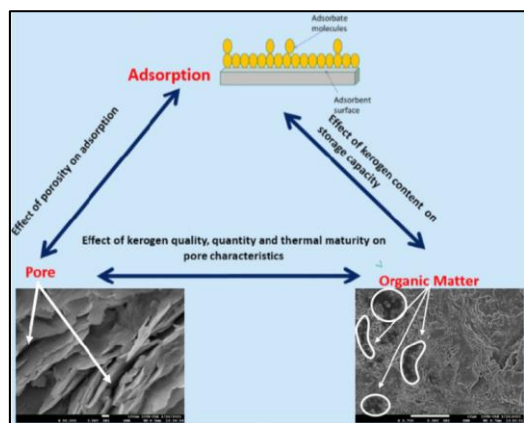
全文链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.1c02561>

有机质对页岩吸附作用研究进展

A Review on the Role of Organic Matter in Gas Adsorption in Shale

■ 摘要译文

随着北美和中国页岩气开发技术的成功和进步,页岩气勘探在世界范围内引起了极大的关注。富有机质页岩是良好的气源,且这种厚层页岩分布广泛,因此具有该储层的国家页岩气开发潜力巨大。为了有效开发页岩气,需要深入了解甲烷的储存机理。一些物-化-力学因素以及页岩的非均质性影响着非常规油气的储集机理,增加了非常规油气藏的复杂性。因此,对页岩性质及其储气能力影响因素进行系统研究和评价至关重要。在众多因素中,有机质含量是气体储集和运移的关键因素。本文试图通过对科学文献的全面评估,评价页岩中有机质的孔隙属性,全面描述导致页岩孔隙特征差异的因素。本文重点介绍了页岩作为吸附体的作用,解释了不同的气体等温吸附类型、吸附热力学和干酪根中甲烷吸附行为的分子模拟。本文还对影响有机质孔隙特征的其他因素(总有机质含量、干酪根类型和成熟度)进行了评述和讨论。最后,本文介绍了这些因素以及湿度和温度对页岩甲烷吸附能力的影响。本文在讨论气体吸附分析实验过程的同时,指出了该领域的研究空白,并提出了进一步认识页岩中甲烷吸附能力的建议。



图解摘要

■ 作者信息

Tuli Bakshi, Vikram Vishal

Geomechanics Laboratory, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India;

本文发表于: Energy Fuels

2021 年第 35 卷 15249–15264 页

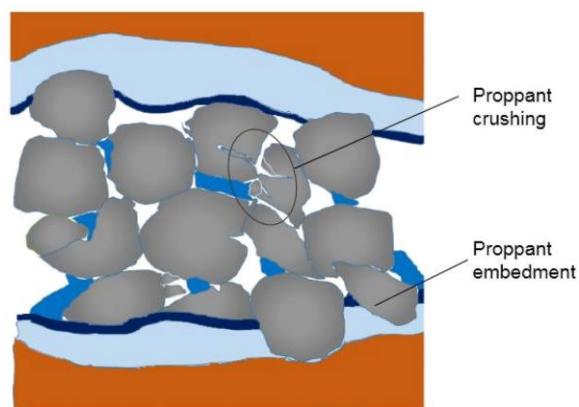
全文链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.1c01631>

储层、压裂液和支撑剂特性对支撑剂在砂岩地层中破碎和嵌入的影响

Impact of reservoir, fracturing fluid and proppant characteristics on proppant crushing and embedment in sandstone formations

■ 摘要译文

水力压裂被认为是油藏增产和保证天然气经济开采的有效方法。油气资源的开发过程很大程度上受到被称为支撑剂的“小球体”的影响。水力压裂的主要目的是在介质中形成一个较大的裂缝网络。在这些裂缝中注入高浓度的支撑剂可以保持裂缝开启，提升裂缝的导流能力，从而确保油气顺利进入井筒。因此，支撑剂需要有足够的强度来承受作用于其上的闭合应力。支撑剂裂缝的导流能力受到支撑剂破碎、细小颗粒形成和支撑剂嵌入等过程的影响。储层、压裂液和支撑剂的性质进一步加剧了支撑剂破碎和嵌入的过程。本文的目的是回顾在砂岩地层上进行的不同压裂实验研究，分析导致支撑剂破碎和嵌入过程加剧的影响因素。根据 API 标准，裂缝导流系统通常用于此类研究。在讨论影响储层裂缝导流能力的基础上，简要概述了水力压裂的各个方面问题。对各个导致支撑剂破碎和嵌入机制的重要证据进行了综述。另外，还强调了破坏裂缝导流能力的其他主要机制，讨论了近年来此类研究的实验进展。



支撑剂破碎与嵌入示意

■ 作者信息

S.Hari^a, Shanker Krishna^a, Laxmi Nandan Gurralla^a, Sanjeev Singh^a, Nikhil Ranjan^a, Rakesh Kumar Vij^a, Subhash N. Shah^{a,b}

^aDrilling, Cementing & Stimulation (DCS) Research Centre, School of Petroleum Technology, Pandit Deendayal Energy University, Knowledge Corridor, Raysan, Gandhinagar, Gujarat, 382426, India

^bMewbourne School of Petroleum and Geological Engineering, University of Oklahoma, Sarkeys Energy Centre, 100 E. Boyd, SEC-1210, Norman, OK, 73019-1003, USA

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 95 卷 编号 104187

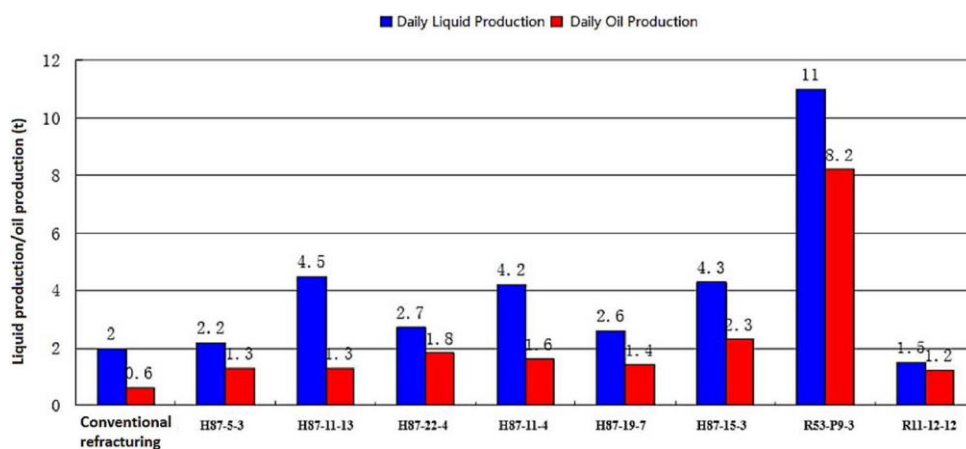
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021003887>

非常规储层无水压裂技术综述

A review on non-aqueous fracturing techniques in unconventional reservoirs

■ 摘要译文

传统页岩油气藏的水、油和聚合物基压裂技术通常受水资源保护、技术和环境等问题制约。无水压裂是一种对地层和环境影响较小的绿色压裂技术，可有效替代水基压裂技术。本文综述了几种提高页岩和超致密岩导流能力的无水压裂技术，还介绍了用于相关技术监测的模拟技术。液态和超临界二氧化碳(Sc-CO₂)压裂法虽然具有缓解全球变暖的潜力，但其成本较高。只有对各种技术的固有局限性有一定认识，才能更好地做出决策。无水压裂具有返排时间短的特点，但 Sc-CO₂ 粘度低，携砂能力弱。类似地，液氮低温压裂通过使岩石快速冷却，改变储层岩石物理和力学性质。基于此，未来的研究应关注低温流体的冷却过程是如何诱发微裂缝和改变岩石渗透性的。此外，除了需要研究压裂液和岩石之间的吸附作用对支撑剂运移的影响外，还应研究如何用低中粘弹性表面活性剂提高 Sc-CO₂ 的携砂能力。为了在低渗透性储层中开展碳捕集与封存工作，需要研究酸化水、二氧化碳和岩石矿物学之间的长期反应机制以及裂缝扩展模型。



常规水力压裂与二氧化碳无水压裂产能对比

■ 作者信息

Shams Kalam, Clement Afagwu, Jaber Al Jaber, Osama MutrifSiddig, Zeeshan Tariq, Mohamed Mahmoud, Abdulazeez Abdulraheem

Department of Petroleum Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, 31261, Saudi Arabia

本文发表于: Journal of Petroleum Science and Engineering 2021 年第 95 卷 编号 104223

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021004224>

水力压裂后关井对致密油藏产能和采收率的影响

Impact of well shut-in after hydraulic-fracture treatments on productivity and recovery of tight oil reservoirs

■ 摘要译文

由水力压裂引起的水侵往往会阻碍油气运移,形成水锁。裂缝及基质中流体饱和状态对产能有较大程度影响。一些油田在长时间关井后,油气采收率得到有效提高。为了研究关井对初始产能和长期采收率的影响,本文进行了数值模拟研究。

本文将地层基质与大量裂缝网络结合,用以代表压裂后地层条件。模型设计使用对数间隔、局部精细网格或嵌入式离散裂缝模型(EDFM)。从不同的初始流体分布开始,比较了以下两种情况下的产能和采收率:一种是关井 32 天后开始生产,另一种是直接开始生产。对于有利于关井的初始条件,通过相关案例研究获取最理想的关井条件,从而最大限度地提高采收率。

结果表明,在所有研究的初始流体分布情况下,关井后的早期产能都有所提高。在大多数情况下,总采收率表现出净增长。本文研究表明,由于自吸影响,采收率提高了 5%。注入水在地层基质中的自吸作用导致流体重新分布,提高了非润湿相的流动性,从而提高了油气产量。模拟考虑了自吸和重力分异,但没有考虑地应力、水吸附或化学反应。若忽略毛管力时,即便没有关井,井的产能和采收率也都会下降。这些结果表明,自吸对流是页岩油油藏模拟中不可忽视的重要开采机制。

■ 作者信息

Esmail Eltahan^a, Fabio Bordeaux Rego^a, Wei Yu^{a,b}, Kamy Sepehrnoori^a

^aHildebrand Department of Petroleum and Geosystems Engineering, The University of Texas at Austin, USA; ^bSimTech LLC, USA

本文发表于: Journal of Petroleum Science and Engineering 2021 年第 203 卷 编号 108592
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410521002527>

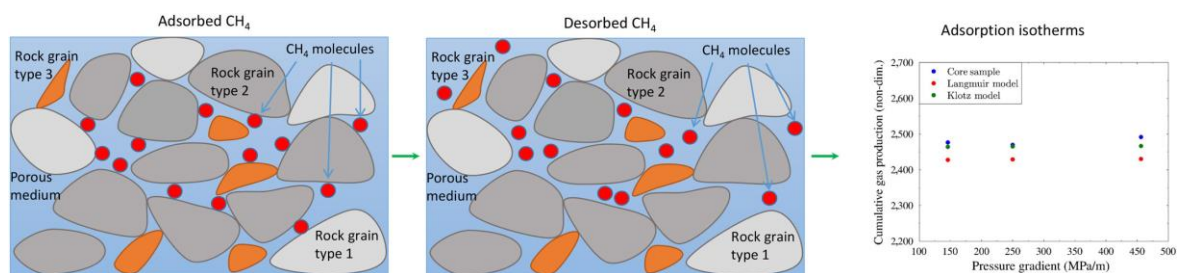
天然气在低渗多孔介质中的吸附与存储特性

Adsorption and storage characteristics of natural gas in low-permeability porous materials

■ 摘要译文

页岩通常被视为非渗透性储层，并被当作烃源岩和盖层。过去几十年，美国的水平井钻井、多级水力压裂、微地震监测和多分支完井等技术突破彻底改变了对页岩气储层开发的认识。页岩中的天然气不仅以游离态存在于孔隙和裂缝中，而且吸附于孔隙表面。准确估算页岩储层中游离气和吸附气含量，精确分析页岩储层中流态特征，对于预测页岩气产能动态、设计或调整生产策略以及压裂设计都有着重要作用。

对吸附和解吸过程的综合建模是准确评估气藏的关键。为了全面研究吸附机制，本文考虑了多个等温曲线，理论结果基于相关实验测试。与岩心测试结果相吻合的 Klotz 等温曲线模型揭示了页岩多孔介质中的吸附机理，在微观上推导了压力和气体流量的变化。用无量纲方法将微尺度模拟结果与时空尺度上不同数量级的实际岩心测量值进行比较。考虑到包含 Klotz 等温线，标准化的微尺度理论结果显示与实际岩心测试结果较好的一致性，这揭示了控制气体流动的一些关键因素。



图解摘要

■ 作者信息

Natalia Kovalchuk^{a,b}, Constantinos Hadjistassou^a

^aUniversity of Nicosia, Marine & Carbon Lab., 46 Makedonitissas Ave., PO Box 24005, CY-1700 Nicosia, Cyprus; ^bRN-KrasnoyarskNIPIneft LLC, 65D 9 Maya Str., Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Territory 660098, Russia

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 95 卷 编号 104217

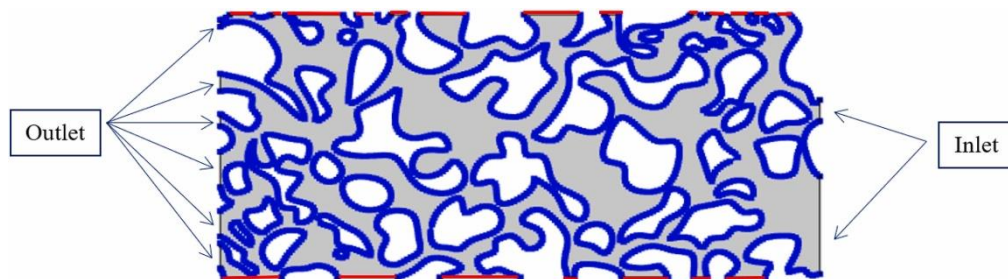
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021004169>

页岩气储层应力相关流体力学：一种孔隙网络建模方法

Stress-dependent fluid dynamics of shale gas reservoirs: A pore network modeling approach

摘要译文

本研究采用孔隙网络建模方法，通过对视渗透率的影响，研究了不同有效应力条件下页岩储层中存在滑脱和气体解吸时甲烷的运移特征。利用缩小比例的伯里亚砂岩（Berea sandstone）图像构建单孔和孔隙网络。在适当的边界条件下应用可压缩 Stokes 方程来描述滑脱和气体解吸效应。为了考虑应力的影响，应用孔隙弹性原理来描述流体运移和固体形变间的相互作用。用文献中的实验数据验证了模型的性能。当考虑气体滑脱和解吸机制时，两种模型均表现出应力对气体流动的负效应。在单孔模型特定应力值下，当滑脱与解吸的耦合贡献叠加时，滑脱对解吸具有正效应和互补效应。但孔隙网络模型的计算结果表明，在有效应力较低时，滑脱对解吸贡献具破坏作用，即滑脱机制引起的孔隙压力变化限制了解吸作用，当考虑应力效应时，上述现象较明显。在高有效应力值下，由于孔隙压力的增加，限制了滑脱效应，因此由解吸作用及解吸-滑脱耦合效应引起的渗透率增加有较强的一致性。应力限制了气体滑脱和解吸效应，其二者都是孔隙压力的函数，然而，随着应力的增加，滑脱效应不再减弱气体解吸的作用。本文为页岩储层多场耦合气体运移中的应力作用研究提供了依据。



孔隙网络模型

■ 作者信息

Jalal Foroozesh^{ab}, Amr Ibrahim Mohamed Abdall^{ac}, et al.

^aSchool of Energy and Electronic Engineering, Portsmouth, UK

^bInstitute of Hydrocarbon Recovery, Universiti Teknologi PETRONAS, Perak, Malaysia

^cPetroleum Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Perak, Malaysia

本文发表于：Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 95 卷 编号 104243

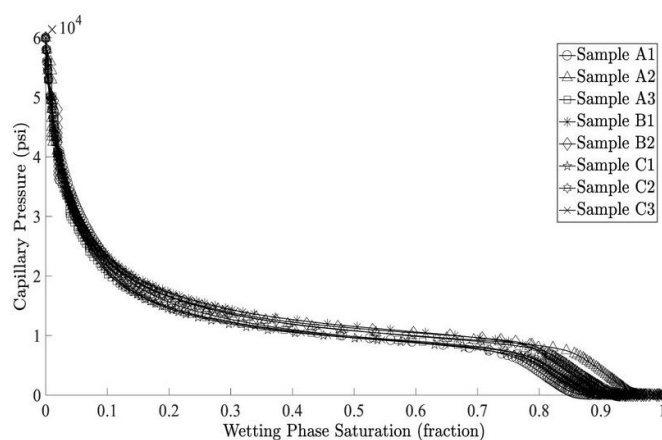
全文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021004418>

Midra 页岩孔隙尺度特征综合表征

Comprehensive pore size characterization of Midra shale

■ 摘要译文

尽管中东地区的碳酸盐储层在世界上研究最早且最多,但与美国非常规储层相比,中东页岩储层的研究相对薄弱。本文研究了卡塔尔 Midra 页岩的孔喉和孔隙大小分布特征,定量研究了在岩心尺度上孔隙特征对流体运移的影响。通过向样品中注入汞来测量毛细管压力,毛细管压力随润湿相饱和度的变化表现出近似稳定的现象,这与美国大多数页岩的线性趋势不同。毛细管压力测量定量表征了孔喉尺寸分布。本文还基于氮气吸附测试,分析了孔隙大小分布特征。研究表明,孔喉大小分布范围较窄,平均约 22 nm。孔隙大小分布范围较广,平均约 18nm。因此,依赖于孔喉大小的流体运移特征需要进行相关修正,使孔隙更接近于地下储层特征。与基质孔隙体积相关的诸如密度等运移参数,可以从其他通道中的气体成分进行准确评价。研究结果可用于非常规天然气等清洁化石能源的开发。



毛细管压力随润湿相饱和度的变化

■ 作者信息

S. Alessa^a, A. Sakhaee-Pour^a, F.N.Sadooni^b, H. A. Al-Kuwari^b

^aDepartment of Petroleum Engineering, University of Houston, Houston, TX, USA

^bEnvironmental Science Center, Qatar University, P. O. Box 2713, Doha, Qatar

本文发表于: Journal of Petroleum Science and Engineering 2021 年第 203 卷 编号 108576

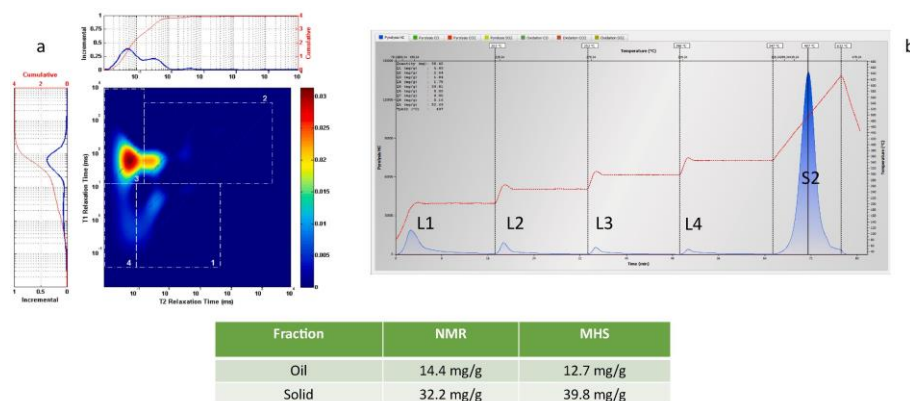
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410521002369>

基于地球化学、光谱学和岩相学方法的富液非常规储层烃产能分析

An integrated geochemical, spectroscopic, and petrographic approach to examining the producibility of hydrocarbons from liquids-rich unconventional formations

■ 摘要译文

富液非常规油气藏(LRU)烃源岩地球化学和岩石物理性质复杂,需要在油气藏初始评价中采用更广泛的分析方法。本研究选取美国和英国烃源岩储层的原始样品,采用 22MHz 核磁共振(HF-NMR)T1-T2 图谱进行分析,然后进行含水热解和改进的岩石热解分析(MHS)。同时,对原始样品和热解样品在反射白光和紫外光激发下进行有机岩相分析。该方案旨在更好地定性和定量分析不同的石油馏分(流动烃、重烃、粘性沥青、固体沥青),从而在评价过程中提供目标层段产能的精确信息。结果表明,基于核磁共振 T1-T2 谱上峰位置和强度解释的烃组分与按照烃流动性/产率的 MHS 热解获取的结果具有一致性,但 Blackstone Clay 样品的 HP(含水热解)实验结果例外,MHS 显示烃产率增加 90%,而在 NMR 图谱中可移动烃极少存在或不存在。在比较热解和核磁共振技术时,本研究阐明了孔隙结构和网络在可采性评估差异中的作用。这种新颖、多级、多学科的方法提供了一种更先进的筛选方案,可以在钻井或完井之前识别高原位油区(OIP)并预测流体流动性。



室温下 Upper Bakken 样品 HF-NMR T1-T2 图谱和 MHS 热解图

■ 作者信息

Thomas Gentzis^a, Humberto Carvajal-Ortiz^a, Z. Harry Xie^a, Paul C. Hackley^b, Hallie Fowler^a

^aCore Laboratories L.P., Advanced Technology Center, 6316 Windfern Road, Houston, TX 77040, USA

^bU.S. Geological Survey, MS 956 12201 Sunrise Valley Dr., Reston, VA 20192, USA

本文发表于: Fuel

2021 年第 298 卷 编号 120357

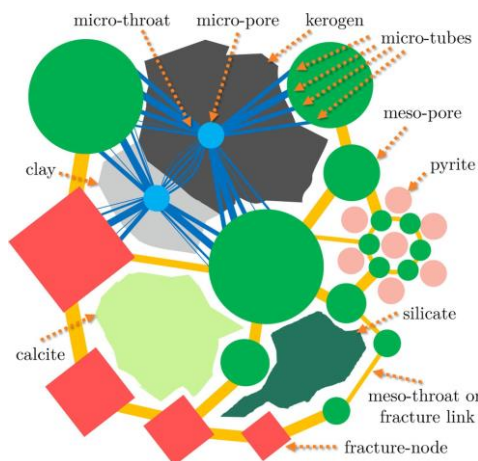
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121002337>

基于深度学习的裂缝性富有机质页岩中碳封存图像模拟

Image-based modeling of carbon storage in fractured organic-rich shale with deep learning acceleration

■ 摘要译文

在本研究中,提出了三种方法来预测干燥裂缝性页岩样品中 CO_2 吸附作用对 CH_4 的置换。这些方法包括动态数值方法、稳态数值方法和基于机器学习(ML)的方法。开发了一个耦合公式,包括气体竞争吸附、压降、Knudsen 扩散、滑脱、对流和菲克扩散等对多组分 CO_2 - CH_4 单相体系的影响。对裂缝性页岩样品的多个随机微观结构生成和加工,进行孔隙网络提取,提取的孔隙网络中既有微孔,也有中孔和裂隙。此后,通过稳态模型代替动态数值方法,它的精确度仅降低 2.3%,但执行速度要快 3 到 4 个数量级。为了进一步提高计算极限,本文对 3982 个模拟稳态情况训练了一个深度学习模型,拟合度大于 0.93。此外,还定义了一个用于识别合适的页岩样品进行 CO_2 封存的标准,该标准主要取决于吸附速率和吸附量。利用该标准和开发的 ML 工具,可以根据大量页岩孔隙尺度图像的适用性对其进行高效准确地排序。提出的工作流程有助于通过分析现有的图像数据来选择合适的二氧化碳地质封存位置。



用于模拟富有机质页岩气体运移的孔隙网络结构

■ 作者信息

Arash Rabbani, Masoud Babaei

The University of Manchester, School of Chemical Engineering and Analytical Science, Manchester, UK

本文发表于: Fuel

2021年第299卷 编号120795

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121006724>

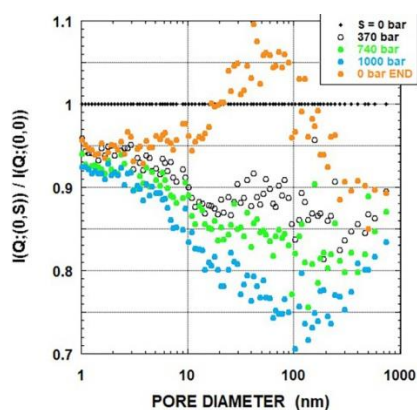
Marcellus 页岩孔隙变形对单轴和静液应力循环的响应:对天然气采收率的影响

Deformation of pores in response to uniaxial and hydrostatic stress cycling in Marcellus Shale: Implications for gas recovery

■ 摘要译文

页岩气开采过程中的主要挑战之一是低采收率。其原因是对孔隙系统的认识不足,特别是孔隙特性随储层条件的变化及生产实践调整。由于生产井的压力可控,因此了解压力变化对孔径分布和甲烷捕获的影响有助于设计提高采收率的最优条件。本文研究工作首次系统研究了单轴和静液应力高达 100MPa 时页岩亚毫米孔隙的变形。采用中子散射(SANS 和 USANS)技术分析了中泥盆纪 Marcellus 页岩过成熟样品,分析了纳米孔对水力压裂处理中不同强度和持续时间的应力循环的响应。本文的实验是在一系列单轴压力高达 100MPa 和氘化甲烷 0 和 50MPa 静液压力下进行的。页岩样品的原始埋深为 2184m,该处静水压力约为 27MPa,岩石静压力约为 55MPa,实验条件较好地模拟了储层压力状态。

SANS 和 USANS 结果表明,单轴应力对不同孔径有不同的影响。在 1~800nm 的孔径范围内,孔隙密度随压力的变化呈下降趋势,其中约 100nm 的中孔最明显。这些减少可能与干酪根的变形、纳米孔体积减少及微孔中捕获甲烷有关。对于大于 5 μm 的孔隙,USANS 数据表明,在大于 74MPa 时,随着应力的增加,大孔隙的数量密度可能会增加,甚至超过初始值。高压下大孔数量的增加可能会为气体运移创造新的通道,从而提高采收率。本研究的另一个重要发现是在压力循环后孔径分布发生了不可逆的重排,在追求油气井最大采收率的过程中,应考虑这种不可逆的孔径分布重组。



图解摘要

■ 作者信息

Tomasz Blach, Andrzej P. Radlinski, et al.

School of Minerals and Energy Resource Engineering, Kensington, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

本文发表于: International Journal of Coal Geology

2021 年第 248 卷 编号 103867

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516221001944>