



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

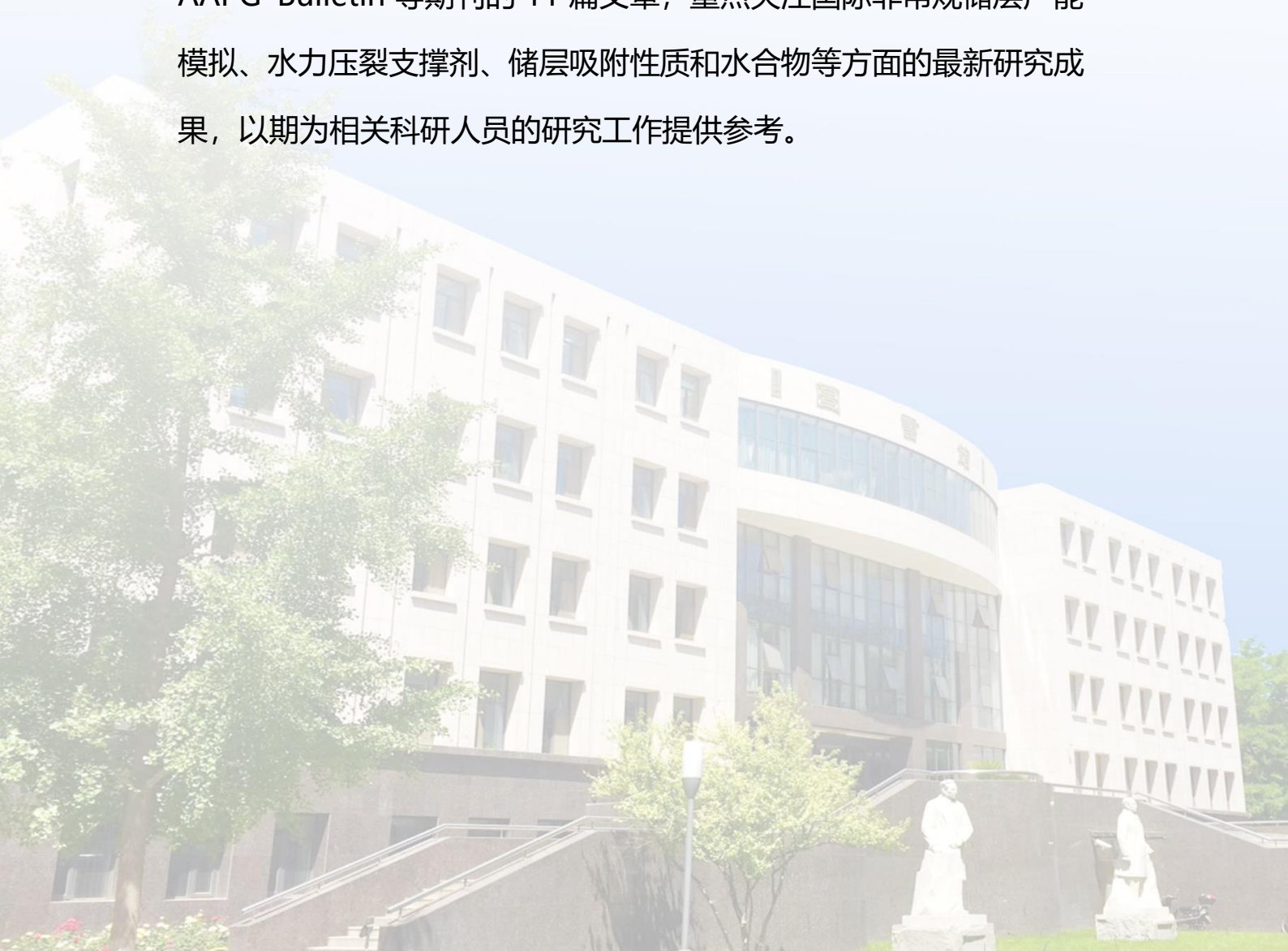
非常规油气专辑 (2021 年第 2 期)



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 2 期，收录了选自 Journal of Natural Gas Science and Engineering、Journal of Petroleum Science and Engineering、International Journal of Coal Geology、AAPG Bulletin 等期刊的 11 篇文章，重点关注国际非常规储层产能模拟、水力压裂支撑剂、储层吸附性质和水合物等方面的最新研究成果，以期为相关科研人员的研究工作提供参考。



目 录

裂缝性储层支撑剂运移情况综述：实验、数值模拟和实践.....	1
煤储层支撑裂缝中支撑剂破裂机理预测及其对裂缝导流的影响.....	2
煤中气体流动瞬态基质扩散与孔隙网络模型的耦合	3
马来西亚煤层低压吸附 CO ₂ 动力学机理实验与理论研究.....	4
页岩气吸附与解吸滞后现象的实验研究与数值模拟	5
作为有效应力函数的富有机质页岩孔隙度和甲烷吸附能力实验测定:对天然气储存能力的影响	6
Cascadia 边缘南部水合物脊天然气水合物形成模拟	7
生物聚合物及其在天然气水合物中作用的基本原理综述	8
高挥发分烟煤中提高煤层气采收率和二氧化碳封存潜力评价	9
利用单井产能历史拟合和地质统计学建模方法进行多井储层数值模拟, 评价煤层动态储层性质	10
预测多级水平井产量的机器学习模型	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

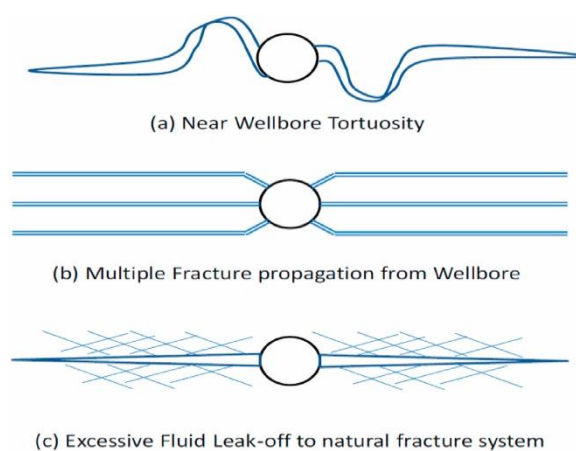
电子信箱: chyang@mail.cgs.gov.cn

裂缝性储层支撑剂运移情况综述：实验、数值模拟和实践

A comprehensive review of proppant transport in fractured reservoirs: Experimental, numerical, and field aspects

■ 摘要译文

裂缝性储层中支撑剂运移的物理特性是油气行业关注的焦点，但相关研究结果争议较大。本研究为支撑剂运移研究提供了综合参考。本文讨论了不同类型的压裂液及其运移能力，基于有机玻璃可视化单元，总结了支撑剂运移的控制因素；基于大量矿场规模模型进行验证，模拟复杂裂缝网络中的支撑剂运移特征。最后，提出了现场实践中影响支撑剂分布的因素并提出了相关建议。本研究指出了该领域研究的不足，并说明了今后的研究方向。



水力压裂中支撑剂运移问题来源

■ 作者信息

Abubakar Isah, Moaz Hiba, Khaled Al-Azani, Murtada Saleh Aljawad, Mohamed Mahmoud

College of Petroleum Engineering and Geosciences, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Saudi Arabia

本文发表于：Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 88 卷 编号 103832

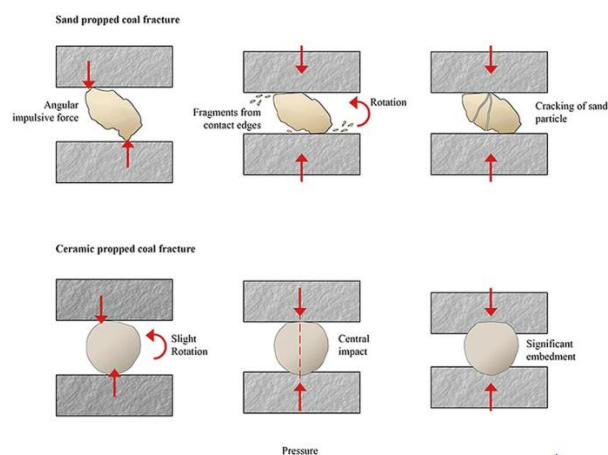
全文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021000391>

煤储层支撑裂缝中支撑剂破裂机理预测及其对裂缝导流的影响

Investigating the proppant damage mechanisms expected in a propped coal fracture and its effect on fracture flow

■ 摘要译文

虽然支撑剂与压裂液混合可以显著提升许多非常规气藏的产能，但该技术煤层气藏中的应用有一定困难。这主要是由于煤储层的特殊性质，包括其质软的特性促进了支撑剂在煤中的破裂机制。因此，正确认识煤储层中受支撑剂支撑的裂缝导流能力是提高煤层气采收率的关键。为了研究煤中两种广泛使用的支撑剂（砂和陶粒）的特性，本研究在储层原位应力条件下进行了 X 射线 CT 分析等一系列先进实验。结果表明，虽然在较浅埋深条件下，砂粒支撑剂比强度更高的陶瓷支撑剂更有效，但在较深埋藏条件下，陶粒支撑剂更有效。裂缝宽度变化受支撑剂形状影响较大，用砂粒支撑剂的裂缝可能会发生较明显的裂缝宽度变化，即使在低围压条件下，由于砂粒的高角度和相关颗粒边缘影响，也会发生类似变化。在更大埋深（6MPa 围压），砂粒支撑剂在更高的储层压力下更容易破碎，而陶粒支撑剂更容易嵌入煤层。总体而言，该研究基本认识了煤层气生产过程中，受不同支撑剂支撑的煤层裂缝中支撑剂破裂机理及其对裂缝导流能力的影响。这些研究结果为后续现场应用提供理论基础。



图解摘要

■ 作者信息

M. A. A. Ahamed^a, M. S. A. Perera^a, Jay R. Black^b et al.

^aDepartment of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Engineering Block B, Building 175, Melbourne, Victoria, 3010, Australia

^bSchool of Earth Sciences, The University of Melbourne, Melbourne, Australia

本文发表于: Journal of Petroleum Science and Engineering 2021 年第 198 卷 编号 108170

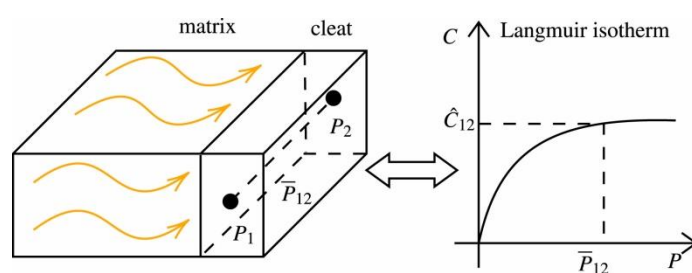
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410520312249>

煤中气体流动瞬态基质扩散与孔隙网络模型的耦合

Coupling of transient matrix diffusion and pore network models for gas flow in coal

■ 摘要译文

由于煤基质中储存有大量气体，因此吸附和扩散过程在煤层气储层分析和模拟中起着至关重要的作用。了解甲烷在煤基质和裂隙中的运移十分必要，可以用基质内的甲烷吸附和扩散过程及割理内的流动来表征。煤中气体流动的多尺度多孔隙结构和多重性质使这些现象的数值模拟变得复杂。本文提出了一种将传统孔隙网络模型（PNM）与瞬态扩散相结合的方法来解决这一问题。利用有限体积法和菲克第二扩散定律分别对每个孔隙网络喉道进行耦合。Langmuir 等温线用于描述煤基质中的吸附过程，并将用 PNM 进行扩散模型耦合时的浓度和压力值关联起来。所提出的方法可解释气体在不同尺度中运移的瞬态性质，同时将模拟中的未知数限制为一个有效的扩散系数参数。研究表明，稳态孔隙网络模型可以有效地与菲克扩散等瞬态现象相结合，从而评价一段时间内总气体流动中基质扩散的构成。所获得的气体吸附能力及其释放速率可以用于准确估算煤层气藏产能特征随时间的变化。



孔隙网络模型和瞬态扩散耦合的示意图

■ 作者信息

Zakhar Lanetc^a, Aleksandr Zhuravljov^b, Yu Jing^a, Ryan T. Armstrong^a, Peyman Mostaghimi^a

^aSchool of Minerals and Energy Resources Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW, 2052, Australia; ^bInstitute of Environmental and Agricultural Biology, University of Tyumen, Tyumen, 625003, Russia

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 88 卷 编号 103741

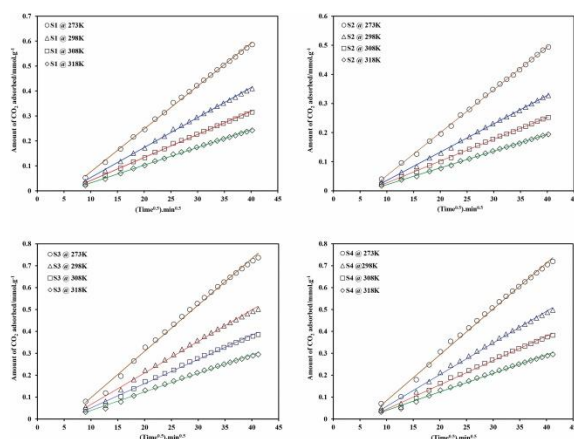
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020305953>

马来西亚煤层低压吸附 CO₂ 动力学机理实验与理论研究

Experimental and theoretical investigations on kinetic mechanisms of low-pressure CO₂ adsorption onto Malaysian coals

■ 摘要译文

煤基质中二氧化碳(CO₂)的吸附机理对研究 CO₂ 在煤层中的稳定性和运移过程具有重要意义。本文介绍了马来西亚煤层对 CO₂ 吸附能力的动力学研究和主要控制作用。CO₂ 吸附实验数据采用容积法测定, 温度分别为 273K、298K、308K 和 318K, 压力高达 99.3kPa。利用热动力学模型对 CO₂ 吸附实验数据进行了研究, 采用傅里叶变换红外光谱和 X 射线衍射分析对煤样进行表征。所有煤样的主要官能团为羟基(-OH)。X 射线衍射分析表明, 煤样有属于石英的主峰(d=3.348Å)。采用包括准一级扩散模型、准二级扩散模型、Avrami 模型和粒子内扩散模型在内的多种动力学模型对实验结果进行关联。颗粒内扩散模型与实验数据吻合较好。因此, 孔隙扩散可能是 CO₂ 与煤基质相互作用的主要限制因素。这说明 CO₂ 分子快速运移到煤基质表面, 并缓慢扩散到煤基质孔隙中。结果表明, CO₂ 与煤基质的整体相互作用受扩散限制影响。煤样的活化能均小于 8kJ/mol, 这表明 CO₂ 在煤样上的吸附是一种物理吸附过程。



CO₂吸附粒子内扩散图 (99.3kPa)

■ 作者信息

Mustafa Abunowara, Suriati Sufian, Mohamad AzmiBustam et al.

Department of Chemical Engineering, Universiti Teknologi PETRONAS, 32610, Bandar Seri Iskandar, Perak, Malaysia

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021年第88卷 编号 103828

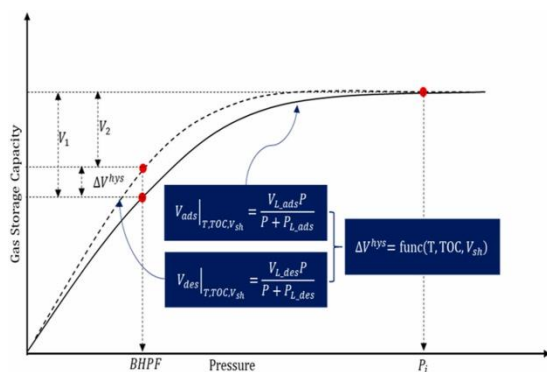
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021000354>

页岩气吸附与解吸滞后现象的实验研究与数值模拟

Experimental investigation and mathematical modelling of shale gas adsorption and desorption hysteresis

■ 摘要译文

为了定量分析奥陶纪 Goldwyer 页岩中页岩气含量和吸附滞后随温度和岩石性质的变化,测试了4种温度下的甲烷吸附和解吸等温线。实验的8个样品都观察到早期孔隙饱和度,因此,测试的等温吸附曲线不能直接使用 Langmuir 等温线或其修正曲线进行建模。混合建模方法包括使用 Dubinin-Radushkevich (D-R)模型来获得吸附相密度(ρ_{ads}),用以使用 Langmuir 模型将过剩量转化为绝对量,描述绝对等温线。与吸附等温线相比,解吸等温线的 Langmuir 参数更低,滞后现象明显。在这两个过程中,Langmuir 体积与 TOC 含量呈正相关,而与总黏土含量无明显关系。为了研究黏土含量的影响,将总黏土含量与 TOC(后称为 COC)的比值作为单一预测指标。结果表明,Langmuir 体积和滞后量与 TOC 含量和 COC 含量呈显著相关。最后,建立了吸附等温线和解吸等温线 Langmuir 体积随 TOC 和 COC 含量变化的解析模型。模型显示了与实验结果的良好的一致性,可应用于本研究之外的其他情况。



图解摘要

■ 作者信息

Jamui M.Ekundayo^{a, b}, Reza Rezaee^a, Chunyan Fan^a

^aWestern Australian School of Mines: Minerals, Energy and Chemical Engineering, Curtin University, Australia; ^bState Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020 年第 88 卷 编号 103761

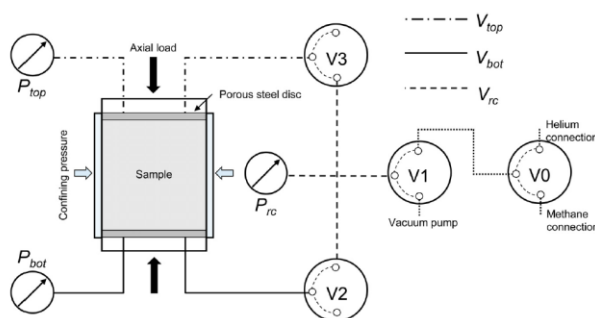
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020306156>

作为有效应力函数的富有机质页岩孔隙度和甲烷吸附能力实验测定:对天然气储存能力的影响

Experimental determination of porosity and methane sorption capacity of organic-rich shales as a function of effective stress: Implications for gas storage capacity

■ 摘要译文

页岩的储气能力通常是通过实验室数据来评估的, 这些数据来自于甲烷无围压吸附和孔隙度测量。本文研究了甲烷的过剩吸附能力和比孔容的应力依赖性。在 30°C 条件下对干岩心柱(寒武—奥陶纪 Alum、侏罗纪 Bossier、晚白垩纪 Eagle Ford 和侏罗纪 kimimmeridge 页岩)进行实验, 实验最高围压 40MPa, 最高气体压力 20 MPa。随着上覆应力增加, 比孔容和过剩吸附能力均显著减小。总有机碳(TOC)含量较高的 Kimmeridge 样品(45% TOC)比孔容的应力敏感性最强, Bossier、Eagle Ford 和 Alum 样品比孔容的应力敏感性依次降低。将甲烷过剩吸附能力的应力依赖性用与 40MPa 载荷无围压情况下比较的百分比降低表示, 降低量由大到小依次为 Eagle Ford(~56%)、Bossier(~30%)、Kimmeridge(~14%)、Alum(~5%)。虽然比孔容的减小是由孔隙弹性压缩引起的, 但应力作用下导致过剩吸附能力降低的机理有待进一步研究。天然气储存能力计算表明, 基于无围压数据的常规方法可能会严重高估总储气量。在这种情况下, 如果不考虑与应力相关的体积减少和吸附储存能力, 在 2500 米深度处, Alum、Bossier、Eagle Ford 和 kimimmeridge 的总储气量将分别被高估 5%、28%、18%和 28%。



控制有效应力条件下用于进行比孔容、视渗透率和吸附测试的恒温(30 °C – 0.3 °C)装置

■ 作者信息

Garri Gaus, Reinhard Fink, Alexandra Amann Hildenbrand et al.

Institute of Geology and Geochemistry of Petroleum and Coal, Energy & Mineral Resources Group (EMR), RWTH Aachen University, Aachen, Germany

本文发表于: AAPG Bulletin

2020 年第 105 卷 第 309–328 页

全文链接: <https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article/105/2/309/593549/>

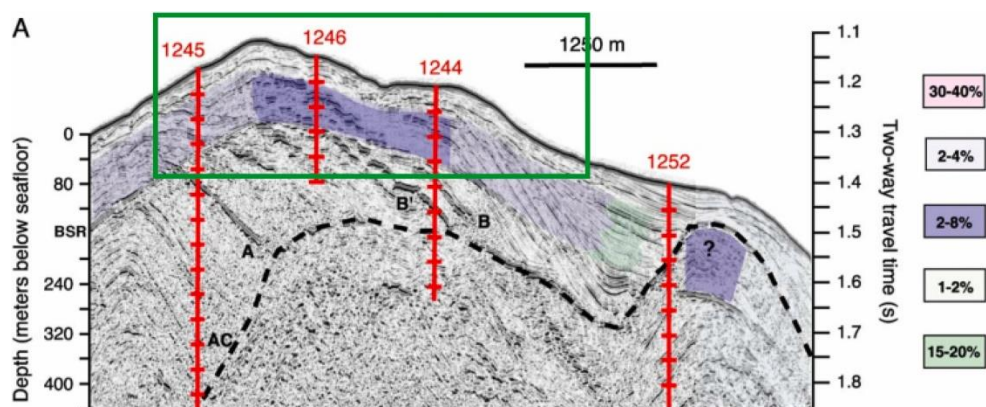
Experimental-determination-of-porosity-and-methane

Cascadia 边缘南部水合物脊天然气水合物形成模拟

Simulating gas hydrate formation in the southern hydrate ridge, Cascadia Margin

摘要译文

太平洋 Cascadia 边缘是海域天然气水合物研究的热点区。本文通过建立数值模型，模拟了 Cascadia 边缘南水合物脊断裂带上甲烷气体的流动。模拟了三种不同的水合物形成场景，它们是相似环境下水合物形成的常见机理。测试环境基于现场观察和之前在类似海底水合物储层中的数值模拟。结果表明，该区天然气水合物是深层气源沿断层向上运移形成。水合物沿南部水合物脊的斜坡分布，但由于低盐度流体的存在，在某些地方出现不连续，从而导致较高的水合物饱和度。平流和浮力驱动是气体运移的主要机制，毛细压力、密度差和水压差确定了运移通道及通过断层的高渗透通道。在模拟场景中，天然气水合物形成的时间范围在 2000 年到 1650 年之间，由于可能存在多个断层作为天然气的运移路径，因此形成时间更接近 1650 年。在测试的模拟场景中，单位垂直截面产生的天然气水合物质量范围为 $6.46 \times 10^5 \text{kg}$ 至 $6.837 \times 10^5 \text{kg}$ 。水合物饱和度预测结果与现场实测测井数据进行校准验证。



南部水合物脊东-西向二维地震剖面

作者信息

Sulav Dhaka, Ipsita Gupta

Louisiana State University, USA

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 88 卷 编号 103845

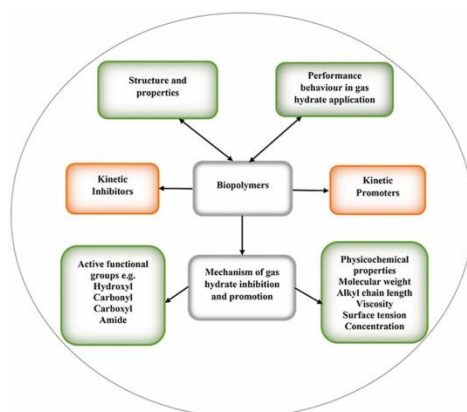
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021000524>

生物聚合物及其在天然气水合物中作用的基本原理综述

Towards a fundamental understanding of biopolymers and their role in gas hydrates: A review

■ 摘要译文

本文综述了生物聚合物在石油工业中的应用。总结了近年来生物聚合物作为动力学水合物抑制剂(KHIs)的研究进展、选择标准、实验发现和抑制机制等。对各研究组的实验数据从成核时间、成核温度、水合物生长速率、水合物形成过程中消耗的气体、平均抑制温度(ΔT)和相对抑制强度百分比(%RIS)等方面进行了系统的分析和评价。根据局部冷却温度等驱动力对现有的实验数据进行了区分。近年来,这一领域的研究为经济、有效、可降解 KHIs 的学术研究和工业应用提供了较多的认识。



图解摘要

■ 作者信息

Sana Yaqub^{a, b}, Muhammad Murtaza^c, Bhajan Lala^b

^aChemical Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Bandar Seri Iskandar, 32610, Perak, Malaysia; ^bCO₂ Research Centre (CO₂RES), Universiti Teknologi PETRONAS, Bandar Seri Iskandar, 32610, Perak, Malaysia; ^cDepartment of Geology, Hazara University Mansehra, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 91 卷 编号 103892

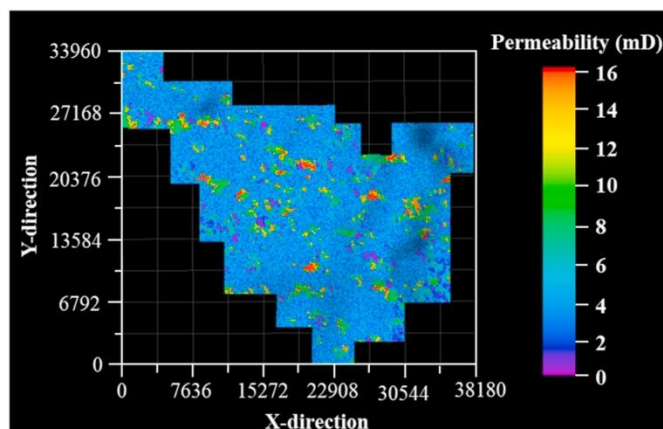
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021000998>

高挥发分烟煤中提高煤层气采收率和二氧化碳封存潜力评价

Evaluation of enhanced coalbed methane recovery and carbon dioxide sequestration potential in high volatile bituminous coal

■ 摘要译文

用地质方法将从烟气中捕获的二氧化碳(CO₂)封存到深部不可采煤层是一种可有效减少温室气体排放的方法,且注入成本可由回收的煤层气资源部分或全部抵消。煤层气(CBM)开采及注二氧化碳提高煤层气采收率(CO₂-ECBM)并封存二氧化碳过程机理复杂,可用数学模型和数值模拟对其进行表征。本文研究了 Uinta 盆地 Buzzard Bench 高挥发性烟煤(Ferron 煤)CO₂ 储存能力和 CO₂-ECBM 潜力。该区是美国最知名的煤层气产区之一,其靠近燃煤电厂且煤层气开采历史悠久。首先构建了一个三维地质模型,利用现有的伽马和密度测井资料构建煤层三维模型,利用地质统计学技术构建上覆岩层的三维模型,该典型模型可在垂直和水平方向上开展非均质性研究。之后,建立了一个动态储层模型,并利用历史拟合对实际甲烷产量进行了校正。在历史拟合之后,用两口注入井和两口生产井进行了 CO₂ 注入和甲烷生产模拟。流体流动模拟结果表明,在 20 年内,可注入 CO₂ 116 万吨、封存 CO₂ 115 万吨。此外,可同时开采 139.5 亿立方英尺的甲烷。由于煤基质膨胀导致渗透率降低,甲烷采收率降低了 19%,注入 CO₂ 量降低了 29%。这证明了即使在二氧化碳注入过程中,煤基质膨胀可能会降低渗透性,但注入二氧化碳方法依然可行。为了克服渗透率变化产生的问题,提出了最大限度地提高注入和封存能力的注采策略。



M 型煤裂缝渗透率分布图

■ 作者信息

Oluwafemi John Omotilewa^a, Palash Panja^{a, b}, Carlos Vega-Ortiz^a, John Mc Lennan^{a, b}

^aDepartment of Chemical Engineering, The University of Utah, Salt Lake City, USA

^bEnergy & Geoscience Institute, The University of Utah, Salt Lake City, USA

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2021 年第 91 卷 编号 103979

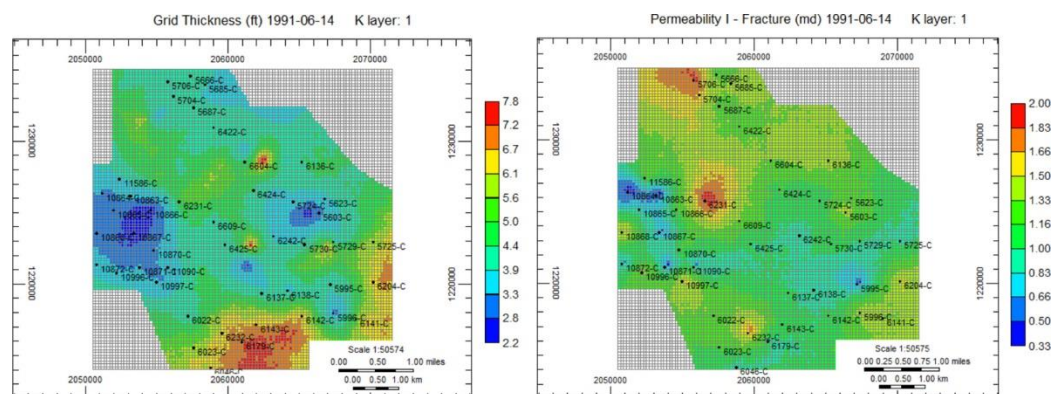
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510021001864>

利用单井产能历史拟合和地质统计学建模方法进行多井储层数值模拟，评价煤层动态储层性质

Single-well production history matching and geostatistical modeling as proxy to multi-well reservoir simulation for evaluating dynamic reservoir properties of coal seams

■ 摘要译文

煤层的气、水有效渗透率和含气量等储层性质及其空间分布特征对煤层气产量、二氧化碳提高采收率和埋存有重要影响。由于油藏压力、基质收缩/膨胀和含水饱和度的变化，这些性质在生产和注入作业期间会发生变化，因此被称为动态参数。预测未取样区域这些重要储层参数的分布及它们在生产或注入过程中的变化特征，对于气田开发和项目经济尤为重要。本文利用 45 口井的单井产能历史拟合与经典地质统计学结果绘制了阿拉巴马州黑勇士盆地 Black Creek 煤层的储层动态参数图。探讨了这种存在一定局限性的方法是否可以作为多井油藏模拟的一种替代方法。为此，利用现有的油藏、井和生产数据建立了一个油藏模型，并将其结果与相同性质的地质统计结果进行比较。尽管两种方法之间的差异导致了预期的局部差异，但结果显示了相似的模式和整体分布。具体结果表明，尽管该地区气井已长时间开采，但在模拟的时间内，仍有高含气量和低气体有效渗透率的区域可助力于后续开发。



模型中使用的 Black Creek 煤层厚度（左）与储层渗透率（右）

■ 作者信息

C. Özgen Karacan

U.S. Geological Survey, Geology, Energy and Minerals Science Center, 12201 Sunrise Valley Drive, Mail Stop 954, Reston, VA 20192, USA

本文发表于: International Journal of Coal Geology 2021年第241卷 编号103766

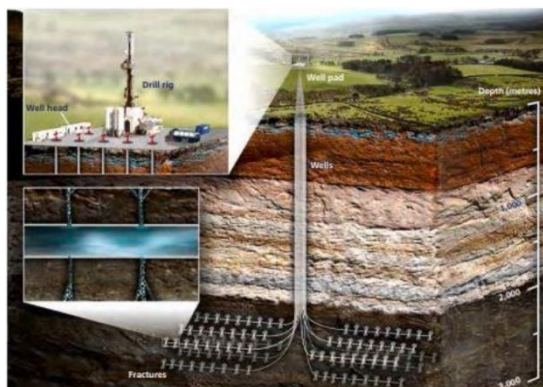
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516221000938>

预测多级水平井产量的机器学习模型

A machine learning model for predicting multi-stage horizontal well production

■ 摘要译文

本文采用混合卷积-递归神经网络(c-RNN)对多级压裂井的五年累计产量进行预测。通过综合应用完井参数、岩石力学性质、井距和各阶段完井顺序对阿尔伯塔 Montney 地层的 74 口井进行模型训练。采用留一法获取的平均百分比误差均值和平均绝对误差来衡量不同组合的预测精度。结果表明,最佳的输入组合是每个射孔簇周围的岩石力学性质、每个压裂阶段使用的支撑剂数量以及相邻井的井距和完井顺序。本研究的创新点在于输入变量是各阶段的而不是整个井的平均值。随着多口井产量的增加,模型的精度呈指数增长。该方法可在不投入资金的情况下运行多个油田开发方案,为在现有开发条件下部署新井提供参考。



多分支水平井示意图

■ 作者信息

Ilia A. Chaikine^{a, b}, Ian D. Gates^a

^aDepartment of Chemical and Petroleum Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada

^bSproule Associates Limited, Calgary, Alberta, Canada

本文发表于: Journal of Petroleum Science and Engineering 2021 年第 198 卷 编号 108133

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410520311876>