



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 (2020 年第 3 期)

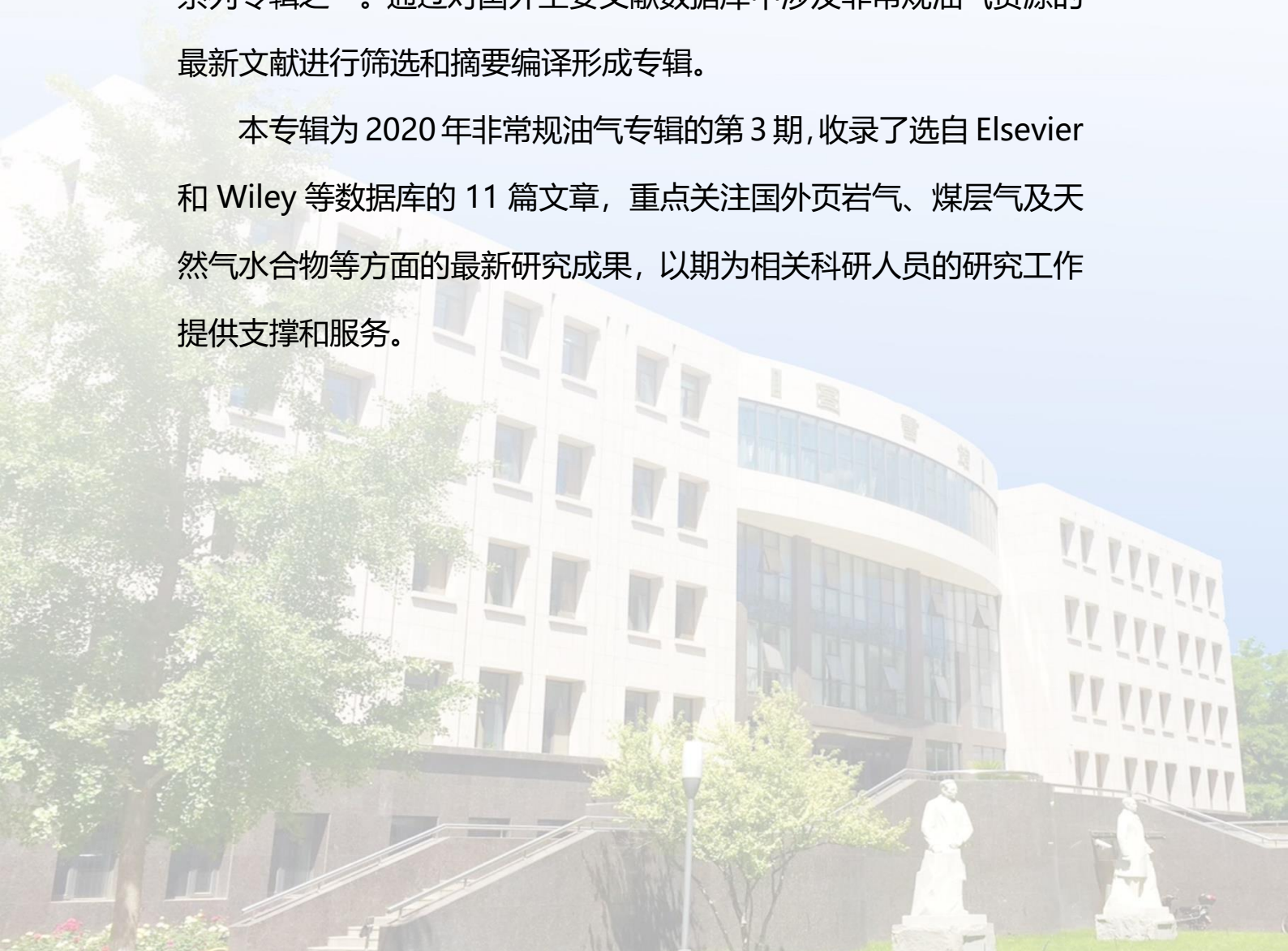


编者按

非常规油气资源主要包括页岩气、煤层气、油页岩、天然气水合物和油砂矿等，它们在全球能源结构中扮演着重要角色，产业化前景广阔。我国非常规油气资源储量丰富，利用潜力巨大，是目前最为现实的接替能源，对非常规油气资源的勘探和开发将为保障我国能源安全作出重要贡献。

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 2020 年非常规油气专辑的第 3 期，收录了选自 Elsevier 和 Wiley 等数据库的 11 篇文章，重点关注国外页岩气、煤层气及天然气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支撑和服务。



目 录

注 CO ₂ 技术提高页岩气采收率综述：前景与挑战	1
页岩 CO ₂ 和 CH ₄ 吸附实验研究综述	2
基于低压氮气吸附和图像分割技术的印度主要含气页岩孔隙度分形特征和空间分布研究 ...	3
基于 LSSV（最小二乘支撑矢量机）法评价 Quidam 页岩中 CO ₂ 、CH ₄ 及其混合物的吸附能力：在 CO ₂ 提升页岩气采收率和 CO ₂ 封存中的应用	4
加拿大 Nova Scotia 和 New Brunswick 密西西比系湖相油页岩地球化学特征对比	5
经液氮处理的煤裂隙网络演化的孔隙尺度分析：微 CT 研究	6
吸附应变下煤的渗透率演化裂隙尺度模拟	7
基质收缩对煤层气井壁应力的影响：以澳大利亚东部 Bowen 盆地为例	8
台湾增生楔下枋寮盆地天然气水合物系统及气体体积评价	9
印度东海岸 Krishna-Godavari 盆地天然气水合物开采技术经济可行性研究	10
基于二维玻璃微模型同时测定水渗透性和甲烷水合物孔隙特征研究	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

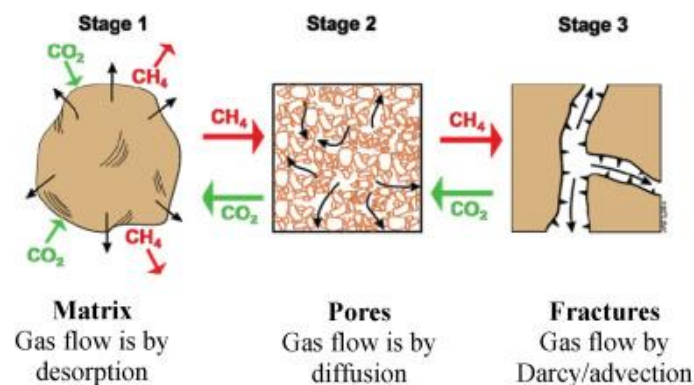
电子信箱：chenyang@cgl.org.cn

注 CO₂ 技术提高页岩气采收率综述：前景与挑战

Review of CO₂ injection techniques for enhanced shale gas recovery: Prospect and challenges

■ 摘要译文

注CO₂技术应用前景广阔，不仅可以提高页岩气的采收率，而且可以实现CO₂的地质封存。本文通过数值模拟和现场实验研究，对CO₂注入技术应用进行了综述。结果表明，在经水力压裂的页岩中，注CO₂技术是可行且成功的。该技术可使甲烷二次采收率增加26%，并可将注入CO₂的60%以上进行封存，用以持续的CO₂注入，而对于吞吐法则可以产生更多CO₂。储层压力梯度、竞争性吸附、流动动力学影响和页岩性质是控制CH₄采收率和CO₂储存的关键因素。尽管气体的流体动力学特征对预测天然气产量和储量很重要，但大多数模拟都是基于适用于连通裂缝和均质页岩的模型的，而且这些模型无法分析模拟裂缝中的流体流动。后续关于CO₂注入的研究应解决在吞吐过程中CO₂再生率较高，水分含量的影响，CO₂注入对页岩基质性质的影响，CO₂-CH₄竞争性吸附动力学，多组分气体流体动力学等问题，并考虑非均质页岩复杂的孔隙系统。



CO₂注入后CO₂和CH₄流体动力学示意图

■ 作者信息

Raphael Iddphonc^{a,b}, Jinjie Wang^a Lin Zhao^c

^aKey Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources (China University of Geosciences), Ministry of Education, Wuhan, 430074, China; ^bMbeya University of Science and Technology, P.O. Box 131, Mbeya, Tanzania; ^cResearch Institute of Petroleum Processing, SINOPEC, Beijing, 100083, China

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020 年第 77 卷 编号 103240

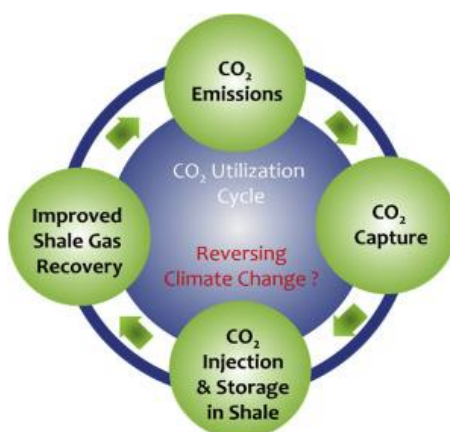
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020300949>

页岩 CO₂ 和 CH₄ 吸附实验研究综述

Review of experimental sorption studies of CO₂ and CH₄ in shales

■ 摘要译文

近年来,为了提高页岩气采收率并实现 CO₂ 的永久地质封存,对页岩气中的二氧化碳注入技术进行了广泛研究。本文综述了页岩中 CH₄ 和 CO₂ 吸附的研究现状,介绍了二氧化碳和甲烷与页岩的相互作用,讨论了包括有机质含量、干酪根类型、矿物学、水分和温度等页岩性质对气体吸附的影响,以及页岩对这两种气体的选择性。总结了 CO₂-CH₄ 的动态交换特征,以及气体吸附对页岩的地球化学和力学性质的影响。目前,大多数实验研究样品仍然是粉碎样品而非完整的岩芯。此外,当两种气体同时存时,CO₂ 通常优先于 CH₄ 被页岩吸附。在典型的储层条件下,两种气体都处于超临界状态,特别是在这种状态下,标准等温吸附模型不能较好地描述二氧化碳的吸附特征。



CO₂ 捕获及提高页岩气采收率和进行碳封存等方面的应用理论图

■ 作者信息

Isaac Klewiah^a, Dhruvit S. Berawala^{b,c}, Hans Christian Alexander Walker^a, Pål Ø. Andersen^{a,b,c}, Paul H. Nadeau^a

^aDepartment of Energy Resources, University of Stavanger, 4036, Norway; ^bDepartment of Energy and Petroleum Engineering, University of Stavanger, 4036, Norway; ^cThe National IOR Centre of Norway, University of Stavanger, 4036, Norway

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020 年第 73 卷 编号 103045

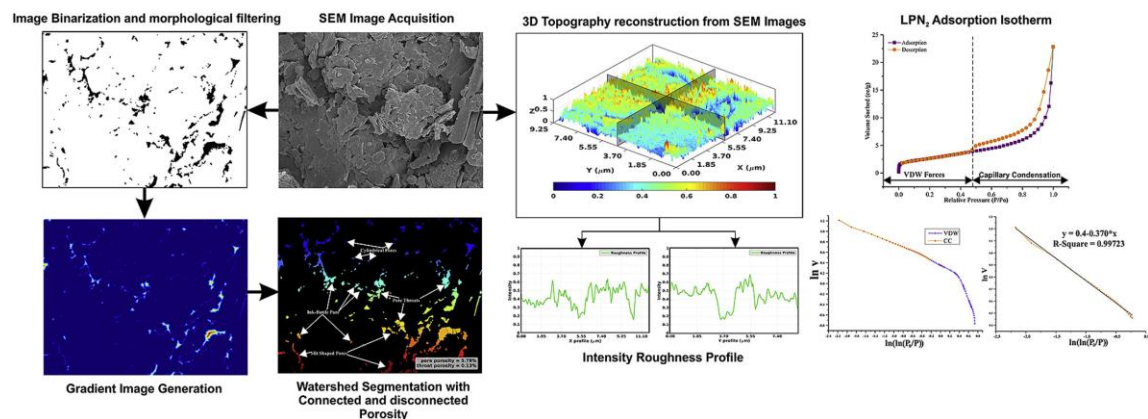
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510019302975>

基于低压氮气吸附和图像分割技术的印度主要含气页岩孔隙度分形特征和空间分布研究

Fractal analysis and spatial disposition of porosity in major indian gas shales using low-pressure nitrogen adsorption and advanced image segmentation

■ 摘要译文

本文利用气体吸附和先进的图像分析方法，研究了印度主要页岩气储层孔隙表面非均质性及其相关孔隙度。实验用的样品来自印度的主要页岩储层，即 Cambay, Cauvery, Krishna-Godavari 和 Damodar。在 SEM 图像上采用了一种先进的分水岭分割法来解释孔隙大小对页岩孔隙度的控制作用。此外，利用距离变换从扫描电镜图像中绘制了三维和二维的表面强度图。LPN₂GA 的分形维数 D 在 2.55-2.78 之间，说明其分形特征具有高度的复杂性。三维表面强度图对解释由粘土矿物择优取向所引起的页岩各向异性具有重要意义。这些结果可以进一步应用于研究页岩复杂孔隙系统中的气体流动特征。



图片摘要

■ 作者信息

Ashutosh Tripathy^c, Anil Kumar^b, Vinoth Srinivsan^a, K.H.Singh^b, T.N. Singh^a

^aRock Science and Rock Engineering Lab, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai, India; ^bHigh Performance Geomodelling Lab, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai, India; ^cSchool of Mineral Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Daxue Road No. 1, Xuzhou, Jiangsu, PR China

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2019 年第 72 卷 编号 103009

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510019302616>

基于 LSSV (最小二乘支撑向量机) 法评价 Quidam 页岩中 CO₂、CH₄ 及其混合物的吸附能力：在 CO₂ 提升页岩气采收率和 CO₂ 封存中的应用

Estimation of adsorption capacity of CO₂, CH₄, and their binary mixtures in Quidam shale using LSSVM: Application in CO₂ enhanced shale gas recovery and CO₂ storage

■ 摘要译文

二氧化碳提高页岩气采收率在很大程度上取决于二氧化碳和甲烷的吸附特性。本文中，对于最小二乘支撑向量机(LSSVM)法进行粒子群算法优化，并基于此预测了中国柴达木盆地侏罗纪页岩样品对单一甲烷、二氧化碳及其混合物的吸附能力，该预测是以输入压力、温度、气体组分和 TOC 等不同参数为基础的。应用 348 个文献数据集对模型进行测试和验证。用统计学和图解法将预测值与实验数据进行了比较。测试数据集和验证数据集的 CO₂ 吸附测定系数分别计算为 0.9990 和 0.9982，CH₄ 的分别为 0.9980 和 0.9966。该模型推断出了超出测量范围的合理趋势，需要更广泛的数据集对页岩性质进行更加合理地参数化。



研究方法简图

■ 作者信息

AminBemani^a, AlirezaBaghban^b, Amir H.Mohammadi^{cd}, Pål Østebø Andersen^e

^aDepartment of Petroleum Engineering, Petroleum University of Technology (PUT), Ahwaz, Iran;

^bDepartment of Chemical Engineering, Amirkabir University of Technology, Mahshahr Campus,

Mahshahr, Iran; ^cInstitut de Recherche en Genie Chimique et Petrolier (IRGCP), Paris Cedex, France;

^dDiscipline of Chemical Engineering, School of Engineering, University of KwaZulu-Natal, Howard College Campus, King George V Avenue, Durba, 4041, South Africa; ^eDepartment of Energy

Resources, University of Stavanger, Norway and the National IOR Centre of Norway, University of Stavanger, Norway

本文发表于: International Journal of Greenhouse Gas Control 2020 年第 76 卷 编号 103204

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020300585>

加拿大 Nova Scotia 和 New Brunswick 密西西比系湖相油页岩地球化学特征对比

Comparison of the geochemistry of lacustrine oil shales of Mississippian age from Nova Scotia and New Brunswick, Canada

■ 摘要译文

利用 ICP-MS 和瞬发 γ 对 New Brunswick 地区密西西比系 Albert 组油页岩进行了体元素浓度分析, 将结果与 Nova Scotia 地区相似年代的 Big Marsh 油页岩进行了对比。利用反射白光和荧光确定特征有机质, 并基于 RockEval 确定油页岩的生烃潜力。

地质和沉积学特征表明, Albert 和 Big Marsh 油页岩均为湖相沉积。Big Marsh 油页岩的 B 含量较低且基本保持稳定 (28-54 ppm), 与水深范围一致, 而 New Brunswick 地区 Albert 组油页岩 B 含量较高。相比之下, Big Marsh 沉积具有稳定的输出与供给, 铝硅酸盐输入量较高, 缺乏碳酸盐供给或供给量有限。由 Na/K 和 Th/K 测定的沉积速率表明, 与 Big Marsh 油页岩相比, Albert 油页岩的沉积速率较慢。Albert 油页岩的 Th/U 比值较低, 这可能是由于在沉积过程中, 风化和循环的陆相沉积通量以及外源 U 含量在湖相环境中的输入量较低造成的。Albert 油页岩的 Cr 和 V/Cr 值表明, 油页岩是在含氧—贫氧条件下沉积的, 说明其上层水体富氧, 温度较高且均一。在 Albert 油页岩中, Ca/Sr 与 Ca/Mn 值的变化表明, 由于陆源汇量较低, 水温较高, 大部分样品的 Mn/Ca 较低, 而 Sr/Ca 相对较高, 这些变化是因为油页岩中石英和粘土矿物含量较低。Albert 油页岩存在较高的自生 U 和 Mn/Ca, 表明陆源沉积通量较低, 因此与 Big Marsh 油页岩相比 Th 含量低。由于铝硅酸盐的输入量比 Albert 油页岩高, Big Marsh 油页岩中稀土元素 (REEs) 的含量较高, 这可以通过 Y 和 La 的变化, 氢指数 (HI) 和重稀土 (HREEs) 的变化进一步得到验证。Albert 油页岩表现出明显的 Eu 异常, 是典型的高碳酸盐岩环境。相比之下, Big Marsh 的 Eu 异常不明显, 这是典型的上陆壳环境。

■ 作者信息

Fariborz Goodarzi

FG & Partners Ltd., Environmental and Energy Research Group, 219 Hawkside Mews NW, Calgary, AB T3G 3J4, Canada

本文发表于: International Journal of Coal Geology 2020 年第 220 卷 编号 103398

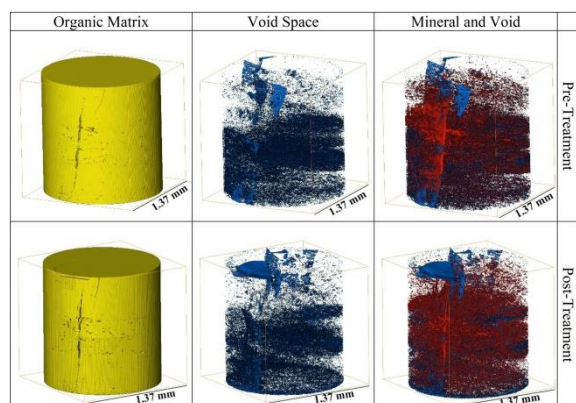
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516219311140>

经液氮处理的煤裂隙网络演化的孔隙尺度分析：微 CT 研究

Pore-scale analysis of coal cleat network evolution through liquid nitrogen treatment: A Micro-Computed Tomography investigation

■ 摘要译文

煤层气开采过程需克服煤储层极低的渗透性，而液氮处理技术是解决该问题的有效方法之一。本文通过三维 X 射线微 CT 技术，研究了孔隙尺度下烟煤低温液氮压裂过程。 μ -CT 结果表明，经液氮处理的煤层煤岩孔隙度增加 11% 以上，且能够从先存割理裂隙中产生更宽的裂缝。这些图像还表明，在低温处理后，原本孤立的孔隙和微裂隙与裂隙网络建立起连接，从而增加了孔隙网络的连通性。此外，冷冻样品的 SEM 图像表明具有持续有效导流能力的裂缝的最大孔径为 $9\mu\text{m}$ 。通过纳米压痕技术对岩石力学性质分析表明，由于破碎岩石压缩系数增加，压痕模量降低了 25%。作为压裂处理的主要目的，对煤的渗透率演化进行了数值和实验研究。 μ -CT 图像的晶格玻尔兹曼模拟表明，经处理的煤岩渗透率增大两倍。此外，岩心驱替实验结果表明，液氮处理后的煤岩渗透率增加了 2.5 倍。本研究可以直观地了解与煤的液氮处理相关的压裂机理，定量研究岩石的孔隙结构和渗透率演化规律。



液氮处理前（上图）后（下图）不同阶段煤岩的 3D 图像

■ 作者信息

Hamed Akhondzadeh^a, Alireza Keshavarz^a, Ahmed Z. Al-Yaseri^a, Muhammad Ali^a, Faisal Ur Rahman Awan^a, Xin Wang^b, Yongfei Yang^b, Stefan Iglauder^a, Maxim Lebedev^c

^aSchool of Engineering, Edith Cowan University, 270 Joondalup Drive, Joondalup, WA, 6027, Australia; ^bKey Laboratory of Unconventional Oil & Gas Development (China University of Petroleum (East China)), Ministry of Education, Qingdao 266580, PR China; ^cExploration Geophysics, Curtin University, 26 Dick Perry Avenue, 6151 Kensington, Western Australia, Australia

本文发表于：International Journal of Coal Geology 2020 年第 219 卷 编号 103370

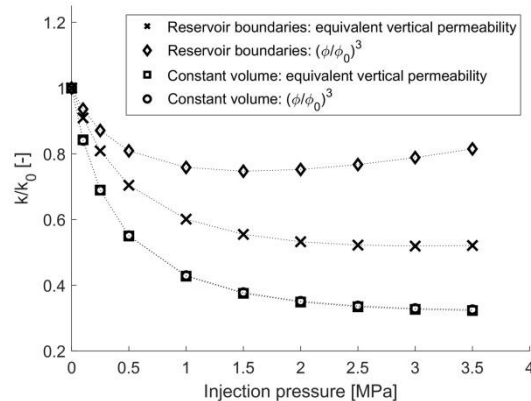
全文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016651621930984X>

吸附应变下煤的渗透率演化裂隙尺度模拟

Cleat-scale modelling of the coal permeability evolution due to sorption-induced strain

摘要译文

煤的渗透性受吸附应变的影响,事实上,煤岩因气体吸附或解吸而膨胀或收缩,改变割理宽度,进而改变渗透率。煤的渗透性演化规律对煤层气的开发和二氧化碳捕获与封存都具有重要意义。在裂隙尺度上建立了考虑实验观测的流体力学耦合模型,在有限元代码 Lagamine 中实现。该数值模型是在裂隙和基质块的尺度上建立的。基于 Langmuir 等温线,采用界面元素对裂隙进行建模,这些界面元素特别适合于控制吸附/解吸作用。在基体块中,假定吸附应变与吸附气体含量成正比。根据边界条件,吸附应变影响应力状态,进而影响裂隙尺寸。与宏观模型相反,由于几何形态可以明确地呈现,该模型不需要使用形状因子。通过与简单几何上解析解的比较,验证了该模型的可实现性。该模型最终应用于模拟由几个基质块构成的表征单元体 (REV) 的气体注入情况。与基于孔隙度的模型相比,该模型突出了研究渗透率演化数值方法的优点。



渗透率随孔隙压力的变化

作者信息

François Bertrand^{a,b,c}, Olivier Buzzi^b, Frédéric Collin^a

^aUniversity of Liège, Urban and Environmental Engineering, Geomechanics, Liège, Belgium;

^bUniversity of Newcastle, Priority Research Centre for Geotechnical and Materials Modelling,

Callaghan, NSW, Australia; ^cF.R.I.A, Fonds de la Recherche Scientifique - FNRS, Brussels, Belgium

本文发表于: International Journal of Coal Geology 2020 年第 216 卷 编号 103320

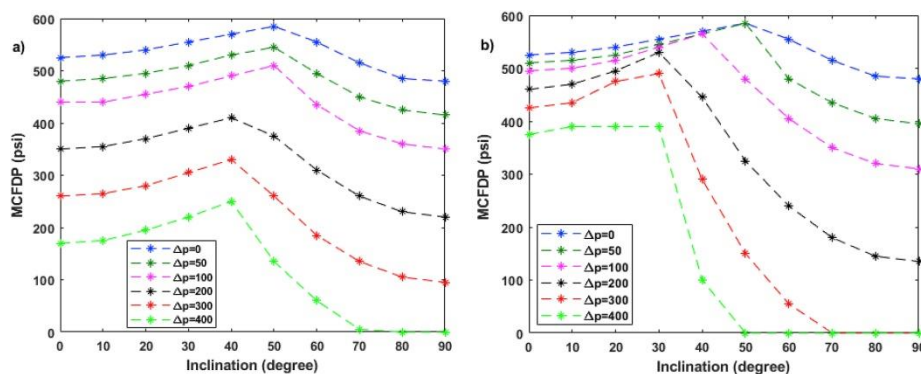
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166516219304720>

基质收缩对煤层气井壁应力的影响：以澳大利亚东部 Bowen 盆地为例

Effect of matrix shrinkage on wellbore stresses in coal seam gas:
An example from Bowen Basin, east Australia

■ 摘要译文

煤基质由于气体脱附而发生收缩效应，导致煤层气（CSG）开采过程中井筒周围应力分布的变化。这对于煤剪切破坏预测和煤粉产出风险评估至关重要，特别是目前在煤层气田中越来越普遍地使用水平井生产。本文提出了一种通过耦合损耗、基质收缩和井筒轨迹等效应力来评价井筒周围的应力分布的分析模型。该模型应用于澳大利亚东部 Bowen 盆地 Moranbah 煤层的垂直井和水平井中煤破坏性分析。结果表明，在生产过程中，煤层气储层应力路径值不恒定且可能由于基体收缩而大于 1。基质收缩效应会显著改变有效水平应力，从而引起近井应力分布的显著变化。结果表明，随着收缩/膨胀量及井眼轨迹的变化，应力差可能增大或减小。在正断层应力状态下，基质收缩效应降低了直井井壁的应力差，进而降低了煤破裂潜力。然而，在大斜度井和水平井中，基体收缩会导致井壁切向应力额外增加，径向应力减小（即井壁应力差较大），这增加了煤破裂的风险。通过对美国 San Juan 盆地煤破坏压力测试，验证了该模型的正确性。



煤岩破坏性分析，a) 无基质收缩效应，b) 有基质收缩效应

■ 作者信息

Mohammadreza Zare Reisabadi^a, Manouchehr Haghighi^a, Mohammad Sayyafzadeh^a, Abbas Khaksar^b

^aAustralian School of Petroleum, The University of Adelaide, Australia

^bBaker Hughes, Australia

本文发表于：Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020 年第 77 卷 编号 103280

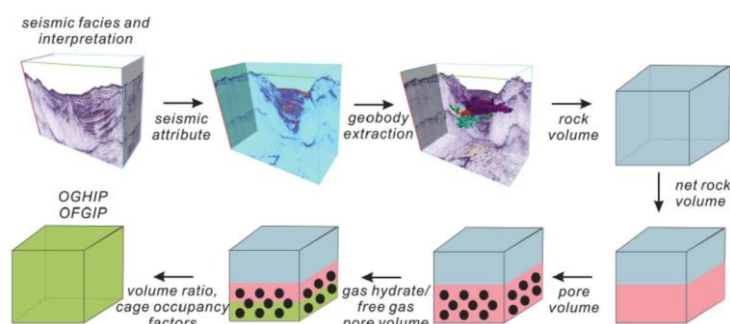
全文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020301347>

台湾增生楔下枋寮盆地天然气水合物系统及气体体积评价

Gas-Hydrate Systems And Gas Volumetric assessment In The Lower Fangliao Basin, Taiwan Accretionary Wedge

■ 摘要译文

根据地震反射数据和浅层沉积物地球化学分析,台湾西南近海早期弧陆碰撞带的增生楔含有丰富的天然气水合物。本文利用二维和三维地震资料,研究了泥底辟等构造因素对第四纪下枋寮盆地(位于上增生楔的半封闭斜坡盆地)天然气水合物及伴生游离气形成的影响。该地区有限的地层层序和油气潜力的勘探信息加上地震反射数据表明,泥底辟构造影响了似海底反射(BSRs)的形成及天然气水合物和游离气体的分布。在地震剖面上,共有五种反射类型:平行反射,弯曲反射,半平行强振幅反射,斜向连续高振幅反射和一般反射。这些地震相分别对应于半深海沉积、块体搬运沉积(MTDs)、富砂岩浊积、漫滩沉积和泥底辟。天然气水合物稳定带(GHSZ)的特征描述是:(i)与海底相类似的高振幅反射,可能指示了潜在的多孔富砂岩浊积储层;(ii)BSRs表现出相对于海底的极性反转,表明阻抗较高的天然气水合物覆盖在具有自由气体的低阻抗间隔上;(iii)断裂带的空白反射,可解释为含气流体通道;(iv)泥底辟两翼及其上的强反射表明有水合物存在;(v)与海底相位相反的底辟两翼高振幅反射,表明与泥底辟相邻的是自由气控制区;(vi)通过泥底辟和断层的平流和扩散流的存在控制了热成因气的运移。根据地震振幅特征和反射强度随BSRs深度的分布,将油气远景区划分为BSRs之上的天然气水合物储集层、BSRs之上的自由气储集层和BSRs之下的自由气储集层。通过地质体提取和蒙特卡罗模拟相结合的方法计算表明,在60平方公里的研究区域内,可获得2048亿立方英尺的总气量。本文研究资料提供了台湾西南近海枋寮盆地南部海域甲烷资源的一级估计



原位气体资源评价原理图

■ 作者信息

F. Dirgantara^{ab}, A. T-S. Lin^{1b}, C-S. Liu^c, C-C. Lin^b, S-C. Chen^d

^aEarth System Science Program, Taiwan International Graduate Program, Academia Sinica and National Central University; ^bDepartment of Earth Sciences, National Central University

本文发表于: Journal of Petroleum Geology 2020 年第 43 卷第 1 期 27-47 页

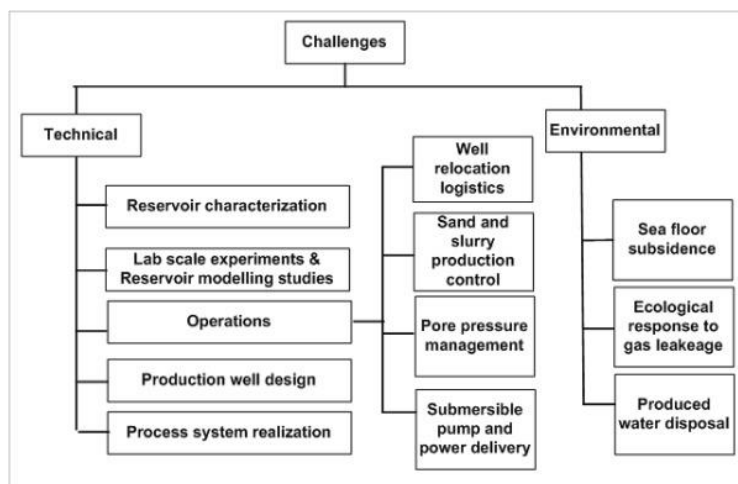
全文链接: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jpg.12748>

印度东海岸 Krishna-Godavari 盆地天然气水合物开采技术经济可行性研究

Techno-economic viability studies on methane gas production from gas hydrates reservoir in the Krishna-Godavari basin, east coast of India

■ 摘要译文

天然气水合物被认为是一种具有战略意义的非常规清洁能源。本文基于多井配置,分析了印度东海岸 Krishna-Godavari 盆地裂缝型天然气水合物储层甲烷开采的技术经济可行性。利用基于降压生产的天然气水合物产能数值模拟软件 NIOT-IndHyd 1.1 和天然气水合物气田开发投资回报成本模型进行了分析,模型以储层物性和印度当前天然气进口价格为输入项。结果表明,在目前印度天然气进口价格为 4.66 美元/MMBtu 的情况下,储层 PoDP (post-dissociation permeability) >200mD 或更高,含水合物饱和度>75%的区域具有良好的经济价值。本文给出了不同储层 PoDP 条件下,采用浮式开采多井配置的投资回收期。



商业开发的挑战

■ 作者信息

N.Vedachalam, S.Ramesh, V.B.N.Jyothi, G.A.Ramadass, M.A.Atmanand, P.Manivannan
National Institute of Ocean Technology, Ministry of Earth Sciences, Chennai, India

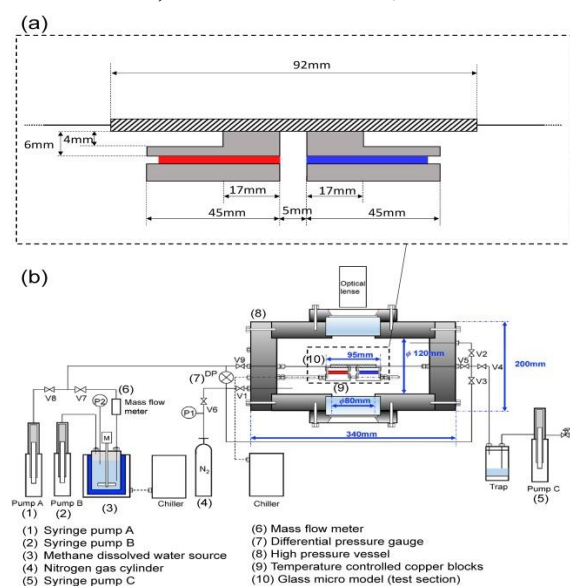
本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020年第77卷 编号103253
全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020301074>

基于二维玻璃微模型同时测定水渗透性和甲烷水合物孔隙特征研究

Simultaneous measurement of water permeability and methane hydrate pore habit using a two-dimensional glass micromodel

■ 摘要译文

本文利用二维玻璃微模型，建立了根据甲烷水合物（MH）在孔隙空间中特征来测试水渗透率的原位仓，同时通过添加溶解有甲烷的水源装置防止 MH 解离，该装置可通过控制压力和温度来调节溶解在水中的甲烷的量。研究同时观察了 MH 结晶行为并测量了多孔介质的水相渗透率。MH 的增长率和孔隙特征的形成随 ΔT （subcooling）而改变。随着 ΔT 增加，结晶形态从六角板状变成枝状和六角板状，最后变为枝状。玻璃柱起到了抑制枝状结晶生长的作用，同时也观察到 MH 形成后多孔介质的封堵过程。将本文研究结果与 MH 沉积物的各种水渗透性模型进行了比较，发现其与非经验相对渗透率（NRP）模型具有较好的一致性，这可能是因为 NRP 模型增强了气相效应。然而，NRP 模型的预测与本实验结果之间仍然存在差距。另一方面，除了 NRP 模型外，由于其他模型中不包括气相，因此一致性较差。



样品仓和实验系统原理图

■ 作者信息

Michihiro Muraoka, Yoshitaka Yamamoto, Norio Tenma

Research Institute of Energy Frontier, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8569, Japan

本文发表于: Journal of Natural Gas Science and Engineering 2020 年第 77 卷 编号 103279

全文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510020301335>