



中国非常规油气沉积学新进展——“非常规油气沉积学”专辑前言

邹才能, 邱振

引用本文:

邹才能, 邱振. 中国非常规油气沉积学新进展——“非常规油气沉积学”专辑前言[J]. 沉积学报, 2021, 39(1): 1–9.

ZOU CaiNeng, QIU Zhen. Preface: New advances in unconventional petroleum sedimentology in China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2021, 39(1): 1–9.

相似文献推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[非常规油气沉积学:内涵与展望](#)

Unconventional Petroleum Sedimentology: Connotation and prospect

沉积学报. 2020, 38(1): 1–29 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2019.116>

[火山灰沉积与页岩有机质富集关系探讨——以五峰组—龙马溪组含气页岩为例](#)

Discussion of the Relationship between Volcanic Ash Layers and Organic Enrichment of Black Shale: A case study of the Wufeng–Longmaxi gas shales in the Sichuan Basin

沉积学报. 2019, 37(6): 1296–1308 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2019.088>

[古龙凹陷青一段米兰科维奇旋回识别及其沉积响应](#)

Identification of Sedimentary Responses to the Milankovitch Cycles in the K2qn1 Formation, Gulong Depression

沉积学报. 2019, 37(4): 661–673 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2018.178>

[中国能源沉积学研究进展与发展战略思考](#)

Research Progress and Development Strategic Thinking on Energy Sedimentology

沉积学报. 2017, 35(5): 1004–1015 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.05.012>

[泥质重力流沉积研究进展及其页岩油气地质意义——以东营凹陷古近系沙河街组三段为例](#)

Research Progresses on Muddy Gravity Flow Deposits and Their Significances on Shale Oil and Gas: A case study from the 3rd oil-member of the Paleogene Shahejie Formation in the Dongying Sag

沉积学报. 2017, 35(4): 740–751 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.008>

文章编号:1000-0550(2021)01-0001-08

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2021.001

中国非常规油气沉积学新进展 ——“非常规油气沉积学”专辑前言

邹才能^{1,2,3}, 邱振^{1,2,4}

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 国家能源页岩气研发(实验)中心, 河北廊坊 065007

3. 国家能源致密油气研发中心, 北京 100083

4. 中国石油非常规油气重点实验室, 北京 100083

摘要 经过近20年不断探索, 中国陆上非常规油气勘探开发取得了重大进展。2019年全国非常规油气产量占油气总产量的23%, 2020年非常规油气产量接近7 000万吨油当量, 标志着中国进入非常规油气革命发展新阶段。非常规油气沉积学作为非常规油气地质学理论体系的重要组成部分之一, 受到越来越多的关注和重视, 形成了“陆相深水砂质碎屑流等重力流沉积模式”、“海陆相富有机质页岩沉积模式”、“细粒沉积岩发育微纳米级孔喉系统”、“多地质事件沉积耦合形成非常规油气甜点区(段)”等重要认识。专辑主要是由从事非常规油气相关的沉积学专家对中国近几年非常规油气层系沉积研究新进展的系统性和及时性总结, 内容涵盖了鄂尔多斯、四川、松辽、渤海湾、准噶尔等近50个大中型及中小型含油气盆地, 地层时代跨度自元古代至新生代, 涉及致密油/页岩油、页岩气、致密气、煤层气、油页岩油等非常规油气层系(段)近30个。这些研究成果为我国非常规油气资源勘探开发提供了重要理论基础与技术支持。提出未来非常规油气沉积学需以非常规油气工业开发的“甜点箱体”和“甜点群”为重点研究方向, 指导非常规油气资源高效勘探开发。

关键词 非常规油气沉积学; 地质事件; 页岩油气; 致密油气; 煤层气; 油页岩油; 甜点箱体; 甜点群

第一作者简介 邹才能, 男, 1963年出生, 中国科学院院士, 非常规油气地质学、常规油气地质理论与实践、新能源发展战略等, E-mail: zcn@petrochina.com.cn

通信作者 邱振, 男, 高级工程师, 非常规油气沉积学, E-mail: qiuzhen316@163.com; qiuzhen@petrochina.com.cn

中图分类号 P618.13 **文献标志码** A

国际沉积学会(IAS)将沉积学(Sedimentology)定义为:它是研究沉积(物)岩的物理和化学特征及其形成过程(包括沉积物搬运、沉积过程、成岩作用等)的一门科学。沉积(物)岩形成过程可伴随着油、气、煤、铀等能源矿产的沉积富集, 而能源工业的巨大需求能够促进沉积学的研究进程与学科创新发展。我国沉积学家王成善院士2020年提出“在油气工业中, 无论在勘探还是开发阶段、无论是常规还是非常规油气, 都要重视沉积学的研究”。新世纪以来, 随着以页岩油气为代表的非常规油气勘探开发的快速发展, 世界油气工业从常规油气延伸至非常规油气领域, 逐步形成了非常规油气地质学理论并得到创新发展。连续或准连续分布的非常规油气资源甜点区(段)是非常规油气地质学研究的核心, 它们是不同的于常规沉积的

“非常规”沉积, 其形成不仅需要大面积连续优质烃源岩(富有机质沉积), 也需要与烃源岩密切匹配的大规模优质储层。本文作者先后提出“非常规油气甜点区(段)的形成是全球性或区域性多种地质事件沉积耦合的结果”^[1]和“非常规油气资源沉积富集与重大地质环境突变密切相关”^[2], 是全球性或区域性构造与海(湖)平面升降、火山活动、气候突变、水体缺氧、生物灭绝与辐射、重力流等多种地质事件沉积耦合的结果”等认识。以此为基础, 提出了非常规油气沉积学(Unconventional Petroleum Sedimentology)的概念^[2]:它是研究与非常规油气资源密切相关的沉积(物)岩及其沉积过程、沉积环境与沉积模式, 以及非常规油气甜点区(段)、富集规律、资源潜力等的学科。它强调以地质事件分析思维开展与非常规油气资源密切相

收稿日期:2021-01-06; 收修改稿日期:2021-01-15

基金项目:国家自然科学基金项目(41602119); 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2020E-31)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41602119; Science and Technology Major Projects of PetroChina, No.2020E-31]

关的沉积(物)岩及其沉积过程等相关研究,查明非常规油气资源的沉积富集规律,为非常规油气勘探开发提供理论基础与技术支撑。非常规油气沉积学属于沉积学、非常规油气地质学、构造地质学等相互交叉的学科,是非常规油气地质学理论体系的重要组成部分之一^[2-3]。

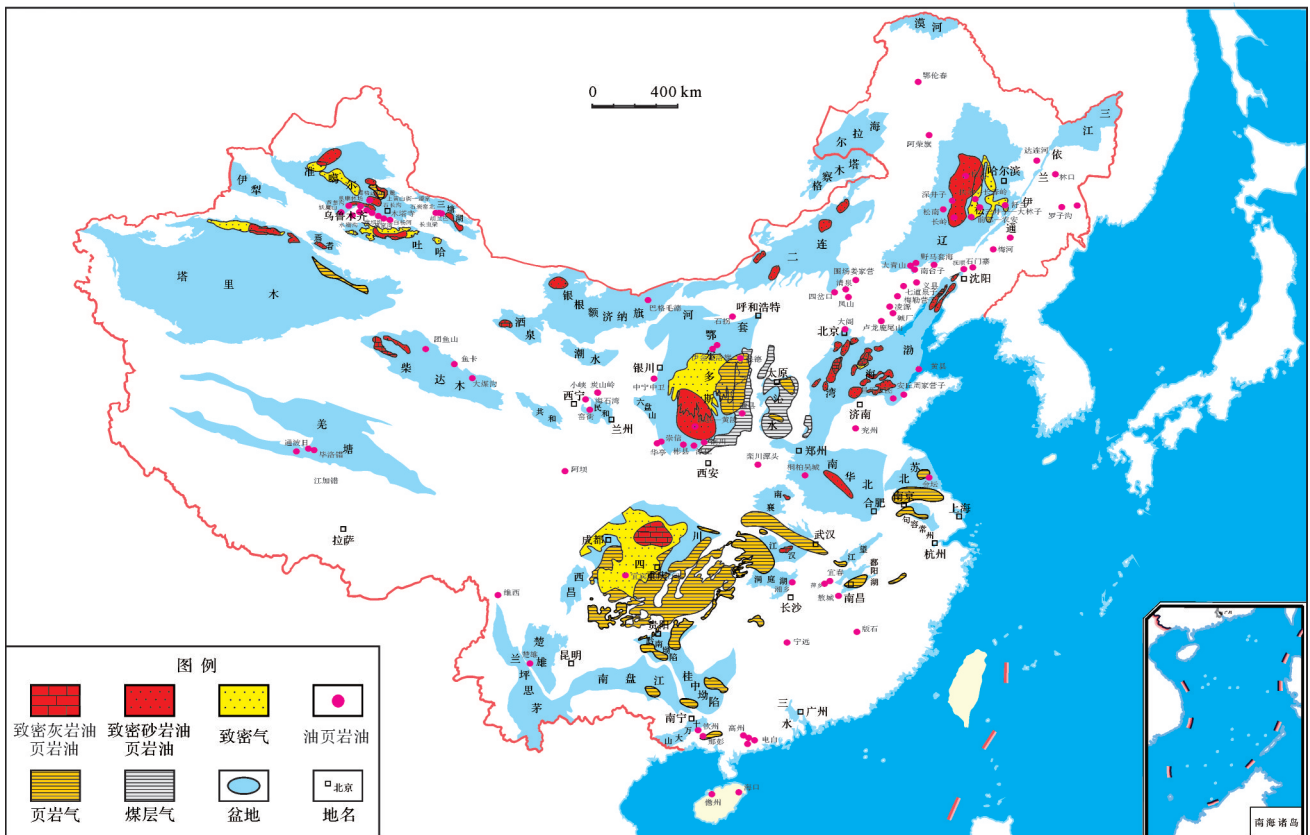
1 中国非常规油气勘探开发进展

以美国为代表的世界油气工业正在从常规向非常规新跨越。2019年美国页岩气产量为7 140亿方,致密油/页岩油产量为3.8亿吨,致密气产量为1 000亿方,煤层气产量为280亿方。中国非常规油气资源丰富且分布广泛(图1),以致密油气、页岩油气、煤层气及油页岩油为代表。经过近20年不断探索,特别是在“十三五”期间,中国陆上非常规油气勘探开发取得了“革命性”的突破,实现了从常规油气向非常规油气的工业化转变。2019年中国页岩气产量为154亿方,致密气产量为410亿方,煤层气产量为59亿方,致密油/页岩油产量为230万吨,油页岩油产量

为150万吨。2019年全国非常规油气产量占油气总产量的23%,其中非常规气占天然气总产量的35%,非常规石油占石油总产量的11%(图2),标志着中国进入了非常规油气革命发展的新阶段。

我国致密气主要分布在鄂尔多斯、四川、松辽、塔里木、渤海湾、吐哈和准噶尔等盆地,地质资源量为21.85万亿方^[5],以鄂尔多斯盆地上古生界和四川盆地三叠系须家河组最为典型。自2000年以来,致密气在鄂尔多斯盆地上古生界勘探获得重大突破,集中发现了苏里格、大牛地等致密气田,开启了致密气开发之路。截止2019年底,全国致密气累计探明储量5.2万亿方,年产量也从2004年的约2亿方快速增长到2019年的410亿方(图2)。

我国致密油和页岩油主要分布在鄂尔多斯、松辽、准噶尔、渤海湾等盆地,致密油地质资源量为125亿吨^[5-6],以鄂尔多斯盆地三叠系延长组、松辽盆地白垩系、准噶尔盆地二叠系为代表。2010年我国学者在引入并发展“连续型油气聚集”理念的基础上,在国内首次提出致密油概念,明确了致密油是非常规石油的热点与重点领域。2014年在鄂尔多斯盆



底图来自自然资源部标准地图服务系统, 原审图号: GS(2019)1697号

图1 中国主要非常规油气资源分布图(修改自文献[2-4])

Fig.1 Distribution of unconventional petroleum resources on land in China (modified from reference [2-4])

地发现了我国第一个亿吨级致密油田——新安边油田,开辟了我国非常规石油勘探新领域。相继在鄂尔多斯、松辽等盆地设立了6个开发示范区,稳步推进中国石油致密油开发示范区建设,实现工业化生产。截至2019年底,致密油年产量达230万吨(图3)。我国中低成熟页岩油可采资源量约500亿吨,中高成熟度页岩油地质资源量约100亿吨,其工业化进程是能否最终实现页岩油气革命的关键^[7]。在鄂尔多斯盆地三叠系长7段、松辽盆地白垩系青山口组等多口井已获得工业油流。2020年松辽盆地古龙凹陷古页油平1井压后日产油38.1方,日产气1.3万方^[8],证实了我国陆相页岩油具备良好勘探开发潜力。

我国页岩气主要分布在四川、鄂尔多斯等盆地,其地质资源量约80万亿方,以四川盆地奥陶系一志留系五峰组—龙马溪组、寒武系筇竹寺组及鄂尔多斯盆地二叠系山西组等为代表。2008年钻探国内第1口页岩气地质资料井——长芯1井,开启了页岩气评价的序幕;2009年钻探国内第一个页岩气评价井,设立了首个页岩气矿权,开启了页岩气探索评价。2012年国家能源局批复了4个页岩气示范区,从而拉开了我国页岩气工业化开采试验。截止2019年,全国页岩气探明储量1.8万亿方。年产量从2013年的约2亿方快速增长至2019年的154亿方,实现了工业化跨越(图2)。

我国煤层气主要分布在鄂尔多斯、沁水、四川等盆地,埋深2 000 m以浅煤层气地质资源量约30万亿方^[9]。1996年中联煤层气有限公司的成立标志着我

国煤层气走向了产业化阶段,此后逐渐建成鄂尔多斯盆地东缘、沁水两大产业基地,并在辽宁阜新、四川盆地南部等地区实现小规模开发。截止2019年,全国煤层气累计探明储量6 586亿方,年产量从2013年的约0.2亿方快速增长至2019年的59亿方(图2)。

中国页岩油资源丰富,主要分布在松辽盆地、准噶尔盆地和鄂尔多斯盆地,资源量约5 352.87亿吨,以松辽盆地上白垩统青山口组和嫩江组和准噶尔盆地中二叠统芦草沟组以及鄂尔多斯盆地中上三叠统延长组为代表^[4]。2000年以来,我国页岩油产量总体进入了快速增长阶段,从年产量约10万吨快速增长至2019年的150万吨(图3),且从2005年以来一直位居世界第一。

2020年我国非常规油气产量接近7 000万吨油当量,其中致密油和页岩油年产量超300万吨,页岩气年产量突破200亿方,致密气年产量超450亿方。可以说,非常规油是产量稳定的“砝码”,预计2030年将占原油总产量的20%;非常规气是产量增长的“主力”,2030年有望超天然气总产量的50%,故非常规油气成为“稳油增气”的战略性资源。

2 中国非常规油气沉积学研究进展

近十多年来,随着页岩油气、致密油气、煤层气等非常规油气工业的快速发展,我国非常规油气沉积学研究已取得了诸多重要进展,并在我国非常规油气勘探开发中发挥了重要作用^[2],主要包括细粒沉

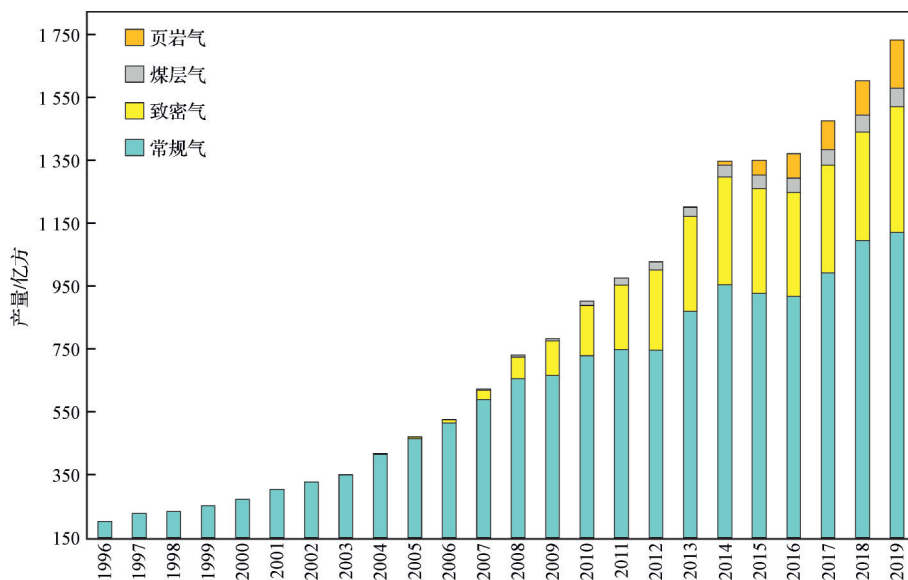


图2 1996年—2019年中国常规—非常规天然气产量分布图

Fig.2 Distribution of conventional and unconventional gas production between 1996 and 2019 on land in China

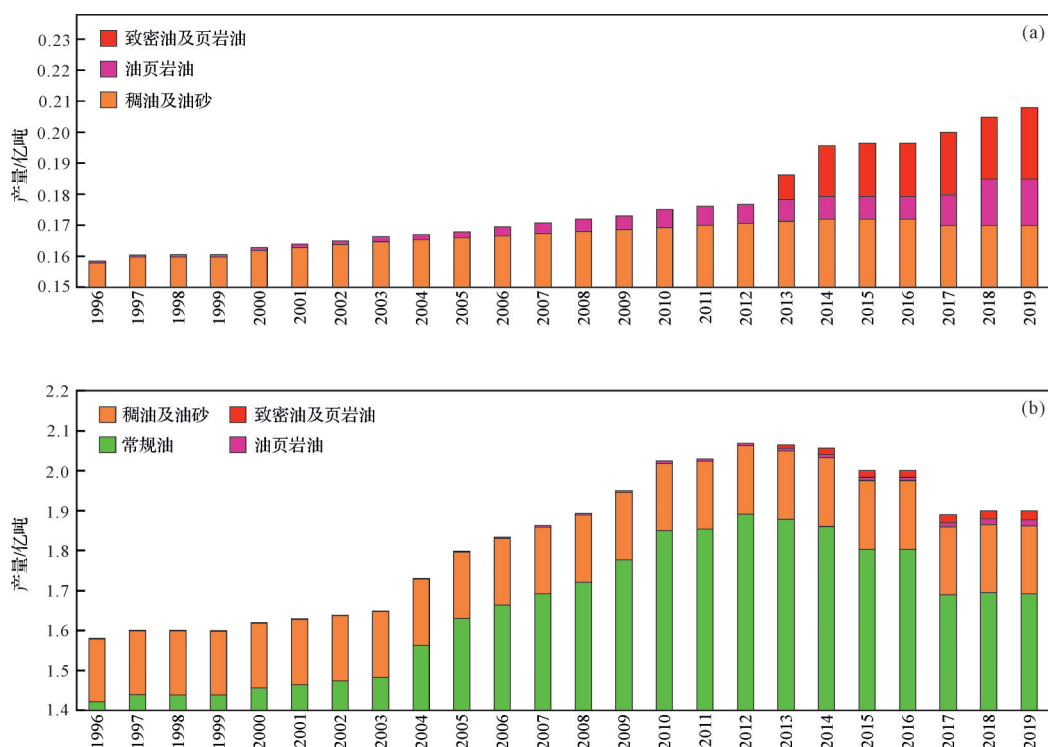


图3 1996年—2019年中国常规—非常规石油产量分布图

(a)中国非常规石油产量分布;(b)中国常规与非常规石油产量分布

Fig.3 Distribution of conventional and unconventional oil production between 1996 and 2019 on land in China

积岩分类、陆相深水砂质碎屑流等重力流沉积模式、海陆相富含有机质页岩沉积模式、细粒沉积岩微纳米级孔喉表征、多地质事件沉积耦合形成非常规油气甜点区(段)等。特别是近几年来,我国非常规油气工业进入快速发展的黄金时期,非常规油气沉积学研究受到越来越多的关注和重视,取得了一些新进展。例如,有学者对与非常规油气资源密切相关的泥页岩、致密砂岩、致密碳酸盐岩及混积岩(混合沉积)等的沉积特征、沉积过程及成岩作用等进行了系统总结;也有学者基于我国典型非常规油气层系,针对有机质富集机理、优质储层发育机制等非常规油气沉积学所面临科学问题与挑战,开展了一些实例性分析与探讨。因此,组织本专辑的初衷就是对这些新成果、新认识等进行及时性报道和较为系统的总结。

本专辑共收录43篇文章,较为系统全面地介绍了目前我国非常规油气沉积学研究所取得的成果。它们涵盖了鄂尔多斯、松辽、渤海湾、四川、准噶尔等主要含油气盆地,涉及近50个不同类型盆地近30个海相、海陆过渡相和陆相沉积层系(段)。这些地层年代跨度大,包括了元古界震旦系(Z)、古生界寒武系(ϵ)、奥陶系(O)、志留系(S)、石炭系(C)和二叠系(P)、中生界三叠系(T)、侏罗系(J)和白垩系(K)以及

新生界古近系(E),涉及致密油、致密气、页岩油、页岩气、油页岩油、煤层气等非常规油气资源。

柳蓉,张坤,刘招君等(2021)通过对全国50个盆地、95个含矿区油页岩成因和分布规律的总结和归纳,明确了火山、热液、大洋缺氧、气候突变、海侵、重力流等事件与油页岩沉积富集的关系,提出未来需要加强沉积学、地球化学、微生物学等多学科交叉,揭示非常规油气资源沉积富集与重大地质环境突变的生态循环过程,进一步深入探讨多种地质事件耦合作用对油页岩成矿影响,以此丰富非常规油气沉积学理论。

董大忠,张磊夫等(2021)系统总结海陆过渡相页岩气层系沉积研究现状与新进展,并梳理鄂尔多斯、四川、渤海湾等盆地海陆过渡相页岩气勘探开发的新发现,指出了我国海陆过渡相页岩气具有良好勘探开发前景。我国海相页岩气基于“体积开发”新理论^[10],形成了“甜点区”综合评价、井网井距优化设计、水平井钻井和靶窗优选及轨迹设计、水平井段体积压裂改造技术、生产制度设计与平台式工厂化管理等页岩气“体积开发”核心技术,推动了四川盆地中浅层页岩气产量快速发展,实现了深层页岩气重大突破。这些成果也必将推动海陆过渡相页岩气获

得重大突破,对我国页岩气工业化发展具有重要理论指导意义。丁江辉,张金川等(2021)和卢树藩,陈祎等(2021)分别对南方二叠系龙潭组和石炭系旧司组海陆过渡相富有机质页岩开展了实例性研究。彭思钟,刘德勋等(2021)对鄂尔多斯盆地东缘二叠系山西组页岩沉积开展了实例性探讨。

高远,Alan R.Carroll 和王成善(2021)介绍了异整合面的涵义和基本识别特征,并以北美古近系陆相绿河组、中国奥陶系—志留系海相五峰组—龙马溪组等页岩层系为例,阐述了异整合面是古环境剧变事件在地层中的记录,与全球性或区域性气候环境变化密切相关,影响着有机质沉积富集。异整合面的识别是非常规油气沉积学研究的重要内容之一,对于全球油气资源勘探也具有重要指导意义。

赵建华和金之钧(2021)系统阐述了国内泥(页)岩成岩作用研究的四大进展,并展望了未来的发展趋势。泥岩成岩作用不仅控制着油气的生成和运移,也控制着页岩油气优质储层的形成与分布,它是当今非常规油气沉积学研究比较活跃的前沿领域之一。文中所探讨的成岩作用对有机质孔发育、岩石力学性质等方面的影响,对于页岩油气勘探开发具有重要意义。谷渊涛,李晓霞等(2021)深入探讨了我国典型海相、陆相、过渡相页岩储层有机质孔隙差异特征及影响因素。赵迪斐等(2021)和卢龙飞等(2021)分别从不同角度开展了南方五峰组—龙马溪组相关实例性研究。张林浩,孙梦迪等(2021)利用小角中子散射表征了页岩闭孔结构与演化,为评价页岩储层的储集性和渗透性提供了新思路。

李一凡,魏小洁和樊太亮(2021)介绍了海相泥页岩岩相分类、沉积过程解释及层序地层划分等方面的研究进展,并指出沉积特征的精细化描述与定量分析,并结合水槽模拟实验,是今后海相泥页岩沉积过程研究的主体发展方向。李志扬(2021)以晚白垩世北美西部内陆海道为例,得出的不同浅海环境中的泥岩相特征和沉积模式可有助于利用泥岩地层进行古地理、古气候的重构,并能够对预测不同陆棚浅海环境中沉积的泥岩作为有效烃源岩或有效储层的潜力提供指导。欧成华等(2021)通过对我国南方页岩气建产区优质海相页岩岩相类型精细刻画,确定了产气能力最优的岩相类型,该研究是非常规油气沉积学研究的典型实例之一。

杨田,操应长和田景春(2021)综合国内、外重力流沉积相关研究成果,总结湖盆重力流沉积的相关认识,以明确湖盆重力流沉积研究中存在的不足,呼吁加快湖盆深水重力流沉积相关问题的深入研究,从成因上探讨非常规油气优质储层发育机制,形成我国湖相特色的深水重力流研究学科。张倚安,李士祥,杨田等(2021)对鄂尔多斯盆地中上三叠统延长组开展了相关的实例性研究。余焯,尹太举等(2021)和侯云超等(2021)分别对国外白垩系和中新统重力流沉积特征开展了实例性探讨。

蒙启安,赵波等(2021)以松辽盆地北部扶余油层致密油层为例,论述叠置型砂体致密油层沉积富集模式。王乾右,杨威等(2021)基于鄂尔多斯盆地延长组致密油储层沉积微相特征,探讨了不同微相的成岩响应及其控储机理,是非常规油气沉积学研究的典型实例之一。肖正录,陈世加,路俊刚等(2021)探讨了鄂尔多斯盆地陇东地区长8致密油源储间发育的泥质隔层对致密油聚集的不利条件。王昕尧,金振奎等(2021)深入分析了以四川盆地川东北侏罗系大安寨段为代表的陆相页岩中方解石的成因及其对储层的影响,提出方解石介壳有利于大安寨段内岩石层理缝和溶蚀缝的产生。厚刚福,宋兵等(2021)以川中地区侏罗系大安寨段为例,论述了源储纵向及平面等配置特征并预测了致密油有利区。

朱世发等(2021)基于与苏里格致密气大气田相似油气地质条件的鄂尔多斯盆地西部地区二叠系,探讨了浅水三角洲沉积体系与储层岩石学特征,强调压实作用是该套储层致密化的主因。刘明洁等(2021)和孙海涛等(2021)从不同角度对四川盆地不同地区三叠系须家河组致密砂岩储层开展相关研究,前者较为系统地探讨了成岩作用对致密砂岩储层品质的影响,后者则明确了致密储层成因。

胡涛,庞雄奇,姜福杰等(2021)探讨了我国中、新生代陆相断陷咸化湖盆页岩油层系有机质差异富集因素,提出高的古生产力、适当的古盐度和适当的沉积速率背景有利于有机质沉积富集。何佳伟,刘建清等(2021)、黄梓桑,王兴志等(2021)和何庆,董田等(2021)分别从元素地球化学的研究角度对南方五峰组—龙马溪组和牛蹄塘组开展了有机质富集因素或机理的探讨,这些研究对我国南方海相页岩气勘探开发均具有重要意义。咎灵等(2021)则探讨了

形成于不同沉积环境的烃源岩生成原油的差异性。袁懿琳,荆振华等(2021)探讨了鄂尔多斯盆地延长组长7段烃源岩有机地球化学特征,为该盆地延长组页岩油含油性及其资源潜力评价提供重要依据。

李泉泉,鲍志东等(2021)较为详细地介绍了混合沉积非均质性、沉积环境类型、沉积过程等,并探讨了混合沉积作用的主控因素及存在的一些科学问题。混合沉积(物)岩是非常规油气沉积学研究的重要研究对象之一,未来应加强混合沉积动力学分析、深水混积细粒层序理论等,重建其沉积过程以明确沉积体系展布,可预测非常规油气优质储层分布。

施振生和邱振(2021)系统梳理了细粒沉积物物质来源、沉降方式等,总结了海相细粒沉积发育5大类型层理,并探讨了不同层理类型页岩储层品质的差异。华柑霖,吴松涛等(2021)以四川盆地龙马溪组页岩为例,对页岩纹层结构进行分类,并评价了不同纹层结构储集性能的差异。这些成果对海相页岩油气勘探开发具有重要意义。

刘世奇等(2021)系统介绍了煤层孔隙与裂隙相关研究进展,包括研究方法、类型划分方案、发育特征等,探讨了它们的影响因素并分析了发展趋势。黄华州,桑树勋等(2021)从煤层群煤系多套含气系统研究角度,提出湖进体系域下三角洲前缘沉积环境形成的含气单元资源丰度较大,开发效果好。王琳琳等(2021)探讨了煤等温吸附/解吸特征及机理,为“沉积有机质结构演化与其物性耦合关系”研究提供了一种新思路。

宋泽章,柳广弟等(2021)以四川盆地震旦系深层、超深层致密碳酸盐岩储层为例,通过测井曲线组合对储层固态沥青开展定量评价,该研究能够为定量刻画超深、超老地层中的非常规油气富集及演化、资源潜力评价、甜点区刻画提供技术支撑,可为寻找非常规油气资源发挥重要作用。贾云倩,韩登林等(2021)运用显微组分分析法定量判别龙马溪组有机质类型,解析其垂向分布规律及控制因素,有助于探讨龙马溪组有机质页岩分布规律。

龚承林等(2021)通过梳理外陆架—深水盆地沉积物搬运分散系统(深水源—汇系统)对从构造尺度到人类尺度气候变化的沉积过程响应,提出了两种(迟滞和瞬态)深水源—汇系统的沉积过程响应与反馈机制。揭示深水源—汇体系的沉积特征(如岩性、

厚度和规模等)对气候环境变化的沉积响应是非常规油气沉积学的重要研究内容之一,可从成因上探讨优质粗粒和细粒储层的发育机制,建立相应的储层发育模式,可为非常规油气甜点区(段)与资源分布预测提供重要依据。

周川闽等(2021)从颗粒特性、侵蚀和沉积作用机制及底形特征、输运机制与沉积模式,以及有机质富集和保存机制等四个方面对细粒沉积物理模拟进行综述,并在此基础上结合现代青海湖研究提出一种新的富有机质细粒沉积富集假说,即富有机质细粒沉积物的形成可能主要受絮凝作用、洪水重力流、低含氧环境(浪基面之下)和高沉积速率共同控制,这一认识进一步丰富了非常规油气沉积学。卢斌,邱振等(2021)综述了泥页岩沉积物理模拟取得一些重要进展,如泥页岩中砂质纹层、絮状波纹、透镜状纹层等形成过程,部分泥页岩可能沉积在相对浅水以及水动力条件相对较高的环境中,而不是传统所认为的相对深水、低能的环境中。这些研究均提出,未来沉积物理模拟实验结合数值模拟技术能够推动非常规油气沉积学创新发展,可“正演”泥页岩层系中优质储层发育过程,精细刻画优质储层分布,助力非常规油气资源高效勘探开发。

3 研究展望

非常规油气“甜点区(段)”形成是不同于常规沉积的“非常规”沉积。在我国近20年非常规油气勘探开发实践与研究过程中,逐步形成了“甜点区、甜点段”关键评价指标(表1),有效推动了非常规油气资源勘探评价与开发目标优选。同时,围绕非常规油气“甜点区(段)”也开展了诸多沉积学研究,探讨了它们形成过程与优质储层发育特征。未来非常规油气沉积学需以非常规油气工业开发的“甜点箱体”和“甜点群”为重点研究方向。非常规油气“甜点箱体”是由同一地层(层段)内纵向分布的“甜点段”与平面分布的“甜点区”组成一个相对独立的油气富集“地质体”,相当于开发基本单元“油气层组”;在同一油气层系内,多个非常规油气“甜点箱体”可形成“甜点群”,相当于开发“油气层”;一个或多个“甜点群”达到一定规模可形成非常规油气田。非常规油气沉积层系中常发育多类型“甜点箱体”与“甜点群”,不同“甜点群”具有不同沉积过程等特征。例如,鄂尔多斯盆地三叠系延长组发育长6段“甜点群”(长 6_3 “甜

表1 非常规油气“甜点区、甜点段”关键评价指标表

Table 1 Key Parameters of Unconventional Petroleum "Sweet-spot area" and "Sweet-spot interval" Evaluation

油气类型	“甜点段”						“甜点区”			
	TOC含量/%	成熟度/%	孔隙度/%	含油气性	脆性指数	裂缝	有效储层厚度/m	压力系数	埋深/m	保存条件
致密油	烃源岩:>2.0	烃源岩:0.8~1.1	>12.0	含油饱和>65%	>50	微裂缝发育	>15	>0.8	<4 500	构造稳定,改造程度低
致密气	烃源岩:>2.0	烃源岩:>1.3	>10.0	含气饱和>50%	>40	微裂缝发育	>15	>0.7	1 500~4 500	构造稳定,改造程度低
页岩油	>3.0	>0.75	>2.0	含油饱和>80%; 游离烃(S ₁): >2.5 mg/g	>30	纹层缝发育	>10	>0.8	<4 500	构造稳定,改造程度低; 顶、底板相对封闭
页岩气	>3.0	>1.3	>4.0	含气饱和>55%; 总含气量 >3.0 m ³ /t	>60	纹层缝发育	>5.0	>0.8	>1 500	构造稳定,改造程度低; 顶、底板相对封闭
油页岩油	>6.0	<0.5		含油率>3.5%			>0.7		<1 000	

点箱体”)、长7段致密油“甜点群”和长7段页岩油“甜点群”(长7₃、长7₂和长7₁“甜点箱体”),形成了10亿吨级大油田,但其致密油主要发育在砂质碎屑流等重力流沉积体系之中,而页岩油主要富集在富有机质黑色页岩层段;四川盆地奥陶系—志留系页岩气发育龙马溪组“甜点群”(龙一1¹、龙一1²等“甜点箱体”)和五峰组“甜点群”(五一段等“甜点箱体”),形成了万亿方页岩气大气田,但它们之间也存在着差异页岩气富集与沉积特征。因此,未来非常规油气沉积学研究需针对具有非常规油气工业开发的“甜点箱体”与“甜点群”,系统开展与它们相关的沉积(物)岩及其沉积过程、沉积模式等研究,查明非常规油气资源沉积富集规律,以期指导非常规油气资源高效勘探开发。

4 结束语

本专辑所收录的43篇文章从不同研究角度阐述了非常规油气沉积学研究进展,为我国非常规油气资源勘探开发提供了重要理论基础与技术支撑。鉴于期刊版面限制,且为更好报道和传播非常规油气沉积学最新的研究进展,本专辑在2021年第1期首发16篇文章,其他27篇将在2021年第2~6期以非常规油气沉积学专栏形式刊发。我国从事非常规油气相关的沉积学专家、学者及科研院所研究生等逐渐掀起了非常规油气沉积学研究热潮,硕果累累,本专辑仅是抛砖引玉,初步报道中国非常规油气沉积学新进展,难免挂一漏万。

参考文献(References)

- [1] Qiu Z, Zou C N. Controlling factors on the formation and distribution of "sweet-spot areas" of marine gas shales in South China and a preliminary discussion on unconventional petroleum sedimentology [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2020, 194: 103989.
- [2] 邱振, 邹才能. 非常规油气沉积学: 内涵与展望 [J]. *沉积学报*, 2020, 38(1): 1-29. [Qiu Zhen, Zou Caineng. Unconventional petroleum sedimentology: Connotation and prospect [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2020, 38(1): 1-29.]
- [3] 邹才能, 杨智, 张国生, 等. 非常规油气地质学建立及实践 [J]. *地质学报*, 2019, 93(1): 12-23. [Zou Caineng, Yang Zhi, Zhang Guosheng, et al. Establishment and practice of unconventional oil and gas geology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(1): 12-23.]
- [4] 柳蓉, 张坤, 刘招君, 闫旭, 于佳琦. 中国油页岩富集与地质事件研究 [J]. *沉积学报*, 2021, 39(1): 10-28. [Liu Rong, Zhang Kun, Liu ZhaoJun, et al. Oil Shale Mineralization and Geological Events in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 39(1): 10-28.]
- [5] 孙龙德, 邹才能, 贾爱林, 等. 中国致密油气发展特征与方向 [J]. *石油勘探与开发*, 2019, 46(6): 1015-1026. [Sun Longde, Zou Caineng, Jia Ailin, et al. Development characteristics and orientation of tight oil and gas in China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(6): 1015-1026.]
- [6] 杨华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力 [J]. *石油学报*, 2013, 34(1): 1-11. [Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(1): 1-11.]
- [7] 邹才能, 潘松圻, 荆振华, 等. 页岩油气革命及影响 [J]. *石油学报*, 2020, 41(1): 1-12. [Zou Caineng, Pan Songqi, Jing Zhenhua, et al. Shale oil and gas revolution and its impact [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2020, 41(1): 1-12.]

- [8] 孙龙德. 古龙页岩油[J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(3): 1-7. [Sun Longde. Shale oil in Gulong sag, Songliao basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(3): 1-7.]
- [9] 邹才能, 杨智, 黄士鹏, 等. 煤系天然气的资源类型、形成分布与发展前景[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(3): 433-442. [Zou Caineng, Yang Zhi., Huang Shipeng, et al. Resource Types, Formation, Distribution and Prospects of Coal-measure Gas[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(3): 433-442.]
- [10] 焦方正. 页岩气“体积开发”理论认识、核心技术与实践[J]. 天然气工业, 2019, 39(5): 1-14. [Jiao Fangzheng. Theoretical insights, core technologies and practices concerning "volume development" of shale gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(5): 1-14.]

Preface: New advances in unconventional petroleum sedimentology in China

ZOU CaiNeng^{1,2,3}, QIU Zhen^{1,2,4}

1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China

2. National Energy Shale Gas R & D (Experiment) Center, Langfang, Hebei 065007, China

3. National Energy Tight Oil and Gas Research and Development Center, Beijing 100083, China

4. PetroChina Unconventional Oil and Gas Key Laboratory, Beijing 100083, China

Abstract: Significant progress has been gradually made on the exploration and development of unconventional petroleum on land in China over the past 20 years. In 2019, unconventional petroleum production in China accounted for about 23% of the total oil and gas production that year and reached 70 million tons of oil equivalent in 2020, indicating China's petroleum industry has entered a new stage of unconventional petroleum development. Unconventional petroleum sedimentology as an important part of unconventional petroleum geology, and the theoretical system has been gained more and more attention over recent years, leading to important studies, such as "Depositional model of gravity flows, sandy debris in a deep lacustrine basin", "Depositional model of marine and/or lacustrine organic-rich shale", "Abundant micro- and nano- pore throat systems developed in fine-grained sedimentary rocks", and "Sweet-spot areas (intervals) of unconventional petroleum resulted from coupling the sedimentology of several geological events". This special issue systematically assembles new advances made in the unconventional petroleum sedimentology of China by Chinese unconventional petroleum sedimentologists in recent years. These studies refer to about 30 sets of unconventional petroleum strata (intervals) from the Proterozoic to Cenozoic in more than 50 basins, providing an important theoretical basis and technical support for unconventional petroleum exploration and development. Unconventional petroleum sedimentology would focus on deposition and formation of "sweet-spot box" and "sweet-spot group" developed in unconventional petroleum industry in future, and further enhance efficiency of unconventional petroleum exploration and development.

Key words: unconventional petroleum sedimentology; geological events; shale oil and gas; tight oil and gas; coalbed methane; oil shale; sweet-spot box; sweet-spot group

❖ 特约主编



邹才能,男,1963年9月出生于重庆,1987年本科毕业于西南石油学院石油地质勘查专业,2004年获中国石油勘探开发研究院工学博士学位,2017年当选中国科学院院士。石油天然气地质学家,教授级高级工程师,非常规油气地质学理论奠基人与能源战略研究科学家。现任中国石油勘探开发研究院副院长、国家油气战略研究中心副主任、页岩气勘探开发国家地方联合工程中心学术委员会主任等。

主要从事常规—非常规油气地质理论与勘探实践。创建了非常规油气地质学理论,第一个发现北美以外更古老的页岩气层系和具有工业价值的纳米孔隙,首创“人工油气藏”开发概念;论证了岩性地层油气成藏机理,建立湖盆中心砂质碎屑流等沉积模式;阐明了古老碳酸盐岩大气田形成分布规律,推动了我国油气勘探战略转变与重大发现;研判世界能源发展大势,提出了“氢能中国”、中国“能源独立”等战略认识。获批4个国家标准,获国家科技进步一等奖1项与二等奖1项、省部级奖10余项、李四光地质科学奖等。

❖ 特约主编

邱振,男,1984年3月出生于安徽,高级工程师,2012年博士毕业于中国科学院地质与地球物理研究所,2014年中国石油勘探开发研究院博士后出站并留院工作。现为《石油勘探与开发》第八届编委,《天然气工业》、《沉积学报》第一届青年编委,AAPG,Chemical Geology,MPG,JPSE,JAES等国际油气/地质领域期刊的受邀审稿人。

主要从事非常规油气沉积学研究,提出“非常规油气沉积学”概念,阐述了非常规油气资源沉积富集与重大地质环境突变密切相关,明确了“多地质事件沉积耦合形成非常规油气甜点区(段)”重要认识;提出奥陶纪—志留纪转折期发生两次全球性硫化缺氧事件及显生宙第一次生物大灭绝新模式;“产学研”结合,研究成果为中石油页岩气等非常规油气增储上产提供重要理论和技术支撑。获省部级科技奖励2项。

