DOI：10.12090/jissn.1006-6616.20253201

页岩油气富集高产机理与绿色高效开发

谭静强

页岩油气指赋存于富有机质页岩层系中的非常规油气资源，具有典型的“自生自储”特征，其形成与富集过程深刻揭示了油气从烃源岩到储集一体化的连续地质演化。作为中国非常规油气资源的核心组成部分，页岩油气已成为保障能源安全、实现油气增储上产的关键战略接替领域。面对常规油气资源增储难度加大、原油对外依存度长期高企的严峻形势，加快页岩油气勘探开发是提升能源自主供给能力、应对国际能源格局动荡的必然选择。其规模化发展不仅关系到油气工业自身的高质量发展，更是培育能源领域新质生产力、推动产业链升级的重要引擎。在当今全球能源结构向低碳化转型调整的过程中，页岩油气扮演着承上启下的关键桥梁角色——既有助于维持传统能源供应的稳定性，为可再生能源的规模化发展赢得时间和空间；也可通过技术创新推动绿色开发、集约利用，助力“双碳”目标有序推进。如何在生态环境约束下实现页岩油气的效益化、智能化、低碳化开采，实现从“富集”到“高产”、从“开发”到“绿色高效开发”的跨越，已成为统筹能源安全与生态文明建设的时代课题。

页岩油气的勘探开发不仅拓展了油气资源的赋存空间，更推动了对复杂油气系统、细粒沉积、微纳米孔喉结构及流体赋存状态等基础地质问题的全新认识，是多学科交叉融合的前沿领域。作为第二届地球能源国际前沿论坛的支持期刊，《地质力学学报》特策划出版“页岩油气富集高产机理与绿色高效开发”专辑，也将在论坛组织同名专题。本专辑聚焦页岩油气勘探开发的核心理论与技术难题，全面汇集领域内从基础地质研究到绿色高效开发的全链条最新成果，系统总结相关理论方法与实践经验，着力破解行业规模化、效益化、低碳化开发中的卡脖子问题，为中国页岩油气实现战略突破、保障国家能源自主安全贡献专业地质智慧。

专辑共收录 17 篇论文，研究领域覆盖页岩油气“富集高产机理研究—绿色高效开发实践”全链条，内容贯通地质机理、储层评价、工程技术与开发实践等多个维度，展示了“机理探析–技术突破–智能赋能–绿色增效”的最新进展。各文从不同尺度、不同视角出发，共同推动页岩油气勘探开发向更深层次、更智能化、更可持续的方向发展。

成藏机理与富集规律：从“成因耦合”到“主控机制”的系统揭示。在成藏与富集机理方面，唐松等揭示了四川盆地雷口坡组泥灰岩有机质富集的“高初级生产力–良好的保存条件”双控模式。刘胜军等综合评价了川西南天宫堂地区龙马溪组页岩气的富集条件，构建了基于源储特性与构造保存条件 10 项评价指标体系的优质储层标准。谢圣阳等通过元素地球化学分析，揭示了资阳—威远地区筇竹寺组优质页岩的有机质富集受控于高初级生产力、强缺氧保存环境与低陆源稀释的耦合作用。曾治平等综合运用地质地化及模拟手段，研究了准噶尔盆地深层八道湾组过渡相页岩具备良好的“生–运–聚”条件，为深层—超深层油气勘探提供了重要支撑。陈山河等则从有机岩石学与地球化学角度分析了玛南地区风城组烃源岩的湖盆边

缘咸化混积成因,揭示了其与凹陷中心及北部沉积环境的差异性。路漫等将鄂尔多斯盆地长7段烃源岩有机质富集与中—晚三叠世全球湿润气候事件关联,揭示了增强的化学风化作用与缺氧分层的水体环境共同促进该时期湖相优质烃源岩的形成。

储层表征与工程力学:从“微观结构”到“裂缝网络”的精细刻画。 马明阳等对鄂尔多斯盆地西缘乌拉力克组低总有机碳含量海相页岩进行了孔隙结构精细表征,丰富了华北板块海相页岩气储层综合评价体系。在岩石力学与裂缝扩展方面,阮奇等通过室内试验与动态应力演化模型构建,揭示了天然弱面对中—深层页岩四维应力演化及加密井裂缝形态的扰动规律。霍庭旺等通过高温高压实验,明确了热应力对深层页岩弹塑性、各向异性及损伤行为的强化效应。张晨曦等强调了Biot系数对应力剖面与缝高预测精度的关键影响,为压裂设计提供了重要参数优化依据。张金发等提出并构建了基于井震结合的三维裂缝复杂指数表征方法与模型,解决了现有裂缝评价特征参数单一的问题,实现了裂缝网络复杂程度的可视化展布。

智能技术与绿色开发:从“数据驱动”到“低碳高效”的范式演进。 孙金声等系统梳理了页岩气低摩阻钻井液的研究进展与发展趋势,强调润滑机制创新与体系绿色化、智能化转型对深层页岩安全钻进的重要性。面向智能化转型,申宝剑等构建了多源数据驱动的页岩储层地应力智能预测模型(L-XGBoost融合智能模型),实现了三向地应力高精度解释,并揭示了应力隔挡层的发育特征。张明迪等创新性融合层序地层先验信息与深度学习技术,实现了碳酸盐岩测井岩相的智能、高效与地质合理化识别。在绿色开发方面,姜佳彤等基于因果机器学习与孔隙尺度模拟,揭示了润湿性等关键物性参数对页岩储层注CO_2微观波及效率的主导作用,为CO_2地质封存方案优化提供了新思路。万有余等将套外光纤技术应用于柴达木盆地页岩油水平井体积压裂实践中,为施工中簇开启率和压后产出效率提供更加精准的评价。

历史回顾与精神传承。 赵曼系统梳理了李四光先生1954—1971年间运用地质力学理论指导中国海洋石油勘探开拓的实践历程,展现了其“由陆及海”的战略视野与科学方法论,为当代能源科技自立自强提供了宝贵的历史参照与精神激励。

本专辑所呈现的研究成果,旨在勾勒中国页岩油气富集机理与绿色高效开发领域的若干重要进展。限于专题规模与选稿视角,未能涵盖全部相关研究与实践成果,若有不足之处,敬请学界专家与读者批评指正。专辑的顺利出版,得益于各位作者严谨求实的学术耕耘,有赖于审稿专家细致深入的评审意见,亦离不开《地质力学学报》编辑部同仁在组稿、编校与出版过程中付出的专业努力。在此,谨向所有为本专辑做出贡献的同仁致以诚挚谢意,特别感谢孙金声院士,以及申宝剑研究员、宋兆杰教授、罗情勇教授、赵玉龙教授、王金堂教授、荆振华教授等专辑召集人。期盼本专辑能够引发更多思考与交流,合力推动中国页岩油气勘探开发向更大规模、更好效益、更加绿色的方向发展。

特邀主编简介:

谭静强,男,中南大学教授、博士生导师、石油与天然气地质专业,兼任《地质力学学报》、*Geological Society of America Bulletin*、*Marine and Petroleum Geology*等期刊副主编以及中国地球物理学会流体地球科学专委会副主任、中国地质学会非常规油气地质专委会委员、中国石油学会非常规油气专委会委员,长期从事非常规油气地质与地球化学、非常规储层改造及其环境影响等研究