



西安石油大学
1951-2026 建校七十五周年
75th ANNIVERSARY OF XI'AN PETROLEUM UNIVERSITY

第七届天然气地球科学论坛 暨庆祝西安石油大学建校75周年学术研讨会

会议摘要文集

陕西·西安

2026年10月

目 录

NGGSF07001	Discovery of Transition-Metal (Ni, Co) Catalyzed Fischer–Tropsch Synthesis and $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ Carbon Isotope Exchange in a Coal-Measure Sedimentary Sequence Lei Cao, Yiming Jiang, Hong Zhao, Hui Li, Jun Wang, Jingzhou Zhao	1
NGGSF07002	柴达木盆地东坪地区基岩演化特征及油气地质意义 曾 旭, 田继先, 王 楠	3
NGGSF07003	海拉尔盆地贝尔凹陷南屯组致密油成藏规律研究 陈 浩, 张海桥, 王洪伟	5
NGGSF07004	呼和湖凹陷原型盆地恢复及成藏规律研究 陈 浩, 陈鸿平	7
NGGSF07005	从构造到岩性：阳霞凹陷侏罗系岩性油气藏勘探新认识 陈希光, 单 祥, 张知源, 刘 春, 易俊峰, 张 杰	8
NGGSF07006	渝西地区龙潭组薄互层煤系储层特征及其控制因素 陈志鹏, 柏锦浩, 谢鹏辉, 廖思怡, 汪小龙	11
NGGSF07007	深层煤层气水平井产能主控因素研究与人工定容气藏定义——以鄂尔多斯盆地东部为例 费世祥, 许广军, 刘志凯, 张臣松, 雷小兰, 张城玮, 蒋婷婷, 刘 田, 董晨洁	12
NGGSF07008	四川盆地震旦系构造-沉积分异演化与岩相古地理格局 龚德瑜, 唐 勇, 何文军, 刘 刚, 王瑞菊, 吴卫安	13
NGGSF07009	渝西地区深层页岩气储层特征与富集规律 付永红, 谷一凡, 张人境, 姚莲芯, 刘佳勇	15
NGGSF07010	准噶尔盆地下二叠统风城组生气潜力新认识与天然气勘探突破 龚德瑜, 唐 勇, 何文军, 刘 刚, 王瑞菊, 吴卫安	17
NGGSF07011	中国海相碳酸盐岩大气田天然气成因 国建英, 李 剑, 谢增业	19
NGGSF07012	基于相场法的深层页岩薄互夹层水力裂缝纵向扩展规律研究 郝 江, 郭 肖, 王皓东, 陈祖伟, 王作豪	23
NGGSF07013	川东地区二叠系茅口组云化滩的发现及天然气勘探潜力 郝 毅, 李文正, 谷明峰, 朱可丹	24
NGGSF07014	川南深层-超深层筇竹寺组天然裂缝成因演化对页岩气差异富集影响研究 何建华, 邓虎成, 何定睿, 徐 浩, 熊 亮, 刘依豪	26
NGGSF07015	四川盆地须家河组致密气成藏条件及勘探领域 厚刚福, 王俊鹏, 宋 兵, 徐小童, 伍松林, 邓 伟	28
NGGSF07016	四川盆地震旦系-寒武系天然气成因、来源、成藏过程与有利勘探方向 黄士鹏, 姜 华, 赵振宇, 江青春, 管树巍, 周 刚, 宋金民, 张天怡	30
NGGSF07017	我国天然气进口现状、风险及对策建议	

	姜 航, 姜文利, 李登华, 黄书君, 胡洪瑾	32
NGGSF07018	页岩差异富集的动态演化过程研究-以川东南东溪地区龙马溪组页岩为例	
	李 斌, 张 昆, 彭 军, 刘珠江, 魏祥峰, 郝景宇	33
NGGSF07019	四川盆地二叠系孤峰段黑色岩系储层特征及勘探潜力	
	李梦莹, 李文正, 王鹏万, 王俞策, 曹全斌, 郝 毅	35
NGGSF07020	川中震旦系-二叠系天然气特征分析及对立体成藏演化的启示	
	李亿殊, 罗晓容	37
NGGSF07021	松辽盆地龙深气田营二段致密气藏储层及甜点区评价——以龙深 3 区块为例	
	李忠诚, 韩昊天, 宋 鹏, 杨旭东, 周俊廷, 宋 朔	38
NGGSF07022	川中地区上二叠统长兴组礁滩体储层发育机理与天然气成藏条件	
	梁新玉, 刘博文, 蒋志远, 刘建军, 周旻昊, 钱杨娇娇, 梁宇晨, 刘宗伟	39
NGGSF07023	能源变局下天然气资源形势研判及助力产气强国建设路径思考	
	刘 飞	40
NGGSF07024	基于地质力学的超深油气高效开发机理和对策海陆过渡相沉积演化对夹研发育、煤质分异及深层煤层气含气性的控制机理——以鄂尔多斯盆地东部本溪组 8 [#] 煤层为例	
	刘桂珍, 陈 妍, 刘彦雄	41
NGGSF07025	川西晚三叠世陆缘海形成演化与四川盆地须家河组油气勘探	
	刘树根, 孙 玮, 邓 宾, 宋金民, 冉 波, 张闻林, 罗 平, 吕正祥, 叶玥豪, 杨荣军, 王天瑞, 徐宏远, 郭 冉, 刘重江	42
NGGSF07026	开放体系下烃源岩热解丙烷位碳同位素分析技术	
	卢 丽, 马媛媛, 李吉鹏	44
NGGSF07027	柴北缘侏罗系天然气碳同位素异常特征与成因新解	
	鲁雪松, 张凤奇, 姜 华, 桂丽黎, 姜 林, 帅燕华, 国建英	46
NGGSF07028	鄂尔多斯盆地西南部彬长矿区煤系气成因及成藏	
	罗芬红	48
NGGSF07029	元素硫体系下硫代单金刚烷的形成与演化: 来自 1, 3-二甲基单金刚烷黄金管热模拟实验证据	
	马安来, 张亚雄	49
NGGSF07030	断裂影响下莺歌海盆地超压分布特征与形成机	
	马 凌, 黄 雷	51
NGGSF07031	川中-川北地区侏罗系沙溪庙组致密油气差异富集机制与双源供烃-断裂疏导耦合关系	
	马晓健, 柯光明, 梁家驹, 左银辉, 高 蕾	53
NGGSF07032	鄂尔多斯盆地北缘杭锦旗地区上古生界天然气丙烷位碳同位素特征及其成因指示	
	马媛媛, 陶 成, 吴小奇, 卢 丽, 李吉鹏, 李璐赞, 孙永革	54

NGGSF07033	渤海海域氦气壳幔混合成因、富集机制与有利区优选 逢格宇, 冯子齐, 王浩浩, 杨明祥	57
NGGSF07034	页岩型氦气同位素示踪及贫氦原因探究 彭嘉钰, 伏美燕, 黄婷婷, 叶荣杰, 陶辉飞, 朱俊阳, 曾鑫耀, 杨文明, 兰浩翔	59
NGGSF07035	柴达木盆地马仙地区致密砂岩气发现与地质新认识 蒲永霞, 邵泽宇	61
NGGSF07036	氦气研究现状及面临的科学问题 秦胜飞, 李济远, 王佳美, 高红亿, 卢 铎	63
NGGSF07037	阿瓦提古裂陷构造—沉积演化期次与源储发育新机制 任广原, 朱永进, 俞 广, 祝谓平, 熊 冉, 郑剑锋	65
NGGSF07038	窄河道致密砂岩气藏储层地质建模方法与应用 阮基富, 唐 松 1, 罗 皓, 汪煜昆, 赵玄之	68
NGGSF07039	盐晶体: 提高页岩气藏采收率的天然支撑剂 邵佳新, 游利军, 康毅力, 许成元, 陈明君, 王艺钧	70
NGGSF07040	鄂尔多斯盆地长 3 原油与长 7 烃源岩地化特征及其油源对比 石景文, 王爱国	72
NGGSF07041	规整化拟压力、规整化拟时间——气藏工程的灵魂 孙贺东	73
NGGSF07042	柴达木盆地马仙地区致密砂岩气来源及成藏特征 田继先	75
NGGSF07043	陆相淡水湖盆滨浅湖细粒沉积岩岩相类型与储层差异——以川西坳陷三叠系须家河组页岩层系为例 王冠平, 冯动军, 徐士林, 杨映涛, 时志强	77
NGGSF07044	柴达木盆地东坪气田氦气差异分布及富集控制因素与有利勘探方向 王晓波, 王晓梅, 李 剑, 徐朱松, 田继先, 崔会英, 国建英, 夏雨田, 夏胡斌	78
NGGSF07045	超级盆地中的全能源系统资源分布特征——以鄂尔多斯盆地陇东地区为例 王晓梅, 李海锋, 琚惠姣, 马宝林, 赵俊峰	80
NGGSF07046	松辽盆地南部深层火山岩储层多尺度孔缝结构、流体可动性及分类开发评价 王有容, 唐 颖, 王瑞飞	82
NGGSF07047	鄂尔多斯盆地上古生界煤岩气三维地震勘探技术及效果 王正良, 和海雷, 伊鸿斌, 高 强, 曹跃辉, 刘科文, 郭 晴	84
NGGSF07048	一种油气藏型储气库注采效果评价方法 魏 瑾	85
NGGSF07049	川西南地区筇竹寺组页岩热-压耦合演化与页岩气保存条件定量评价 吴 娟, 周志鹏, 蒋前前, 罗 超, 杨雨然, 邓 宾, 焦 堃, 叶玥豪	87

NGGSF07050	塔里木盆地满加尔凹陷西侧氦气来源及成藏主控因素 吴小奇, 陶 成, 王 萍, 邱 岐, 贾存善, 朱东亚, 韩 强, 何 港	88
NGGSF07051	深层海相地层热演化史恢复方法及其控藏作用——以川中灯影组为例 肖 晖, 张星仪, 季帅良, 邹鑫杰	90
NGGSF07052	页岩水化致裂带来的思考与启示 熊 健, 刘向君, 丁 乙	91
NGGSF07053	超深层原油热裂解气生成机制研究 许 锦	92
NGGSF07054	龙深气田营二段气藏富集主控因素研究 杨旭东, 张 欣, 董常春	94
NGGSF07055	基于 BO-LightGBM-SHAP 算法的致密砂岩储层孔隙度定量评价——以鄂尔多斯盆地吴起地区三叠系延长组长 6 段为例 张凤奇, 马 聪, 高建荣, 孙文娜, 付启凡, 周杰平, 仇瀚轩	95
NGGSF07056	岩相古地理新认识研究驱动四川盆地茅口组规模勘探领域拓展 张建勇, 付小东, 郝 毅, 朱可丹	97
NGGSF07057	基于变密度测井分形维数与机器学习的陆相页岩岩相组合井-震识别方法 张立强, 黄宇鑫, 严一鸣, 冯 琛, 卢延俊	99
NGGSF07058	岩石中氢气扩散机制及控制因素 张盼盼	100
NGGSF07059	古地理控制下的陆架尺度氧化还原非均质性与古海洋演化——以上扬子地区早寒武世黑色页岩为例 张天怡, 黄士鹏, 刘全有, 李贤庆, 罗情勇, 姜 华, 江青春, 周 刚, 郭楚媛	101
NGGSF07060	鄂尔多斯盆地延安东部山西组一本溪组煤 泥岩协同生烃特征及勘探启示 张怡诺, 赵谦平, 史 鹏, 祁攀文	103
NGGSF07061	陆相坳陷湖盆深水重力流沉积体系、演化规律及勘探意义 赵卫卫, 徐茂霖, 顾智宁, 李灵光, 邹 鑫, 陈佳硕, 沈宝辉, 王剑南	104
NGGSF07062	延安地区延长组长 7 段纹层型页岩不同岩相含油性及其可动性特征 赵卫卫, 邹 鑫, 顾智宁, 李灵光, 徐茂霖	106
NGGSF07063	鄂尔多斯盆地东部致密砂岩储层古凝析水的证据: 来自水化学、稳定同位素 ($\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 和生产数据的线索 赵子龙, 赵靖舟, 徐泽阳, 张智超, 刘子傲	108
NGGSF07064	富有机质海相页岩孔隙和微裂缝演化及其分形特征 谷一凡, 付永红, 庄红展, 姚莲芯, 蒋裕强	111

编号: NGGSF07001

Discovery of Transition-Metal (Ni, Co) Catalyzed Fischer–Tropsch Synthesis and $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ Carbon Isotope Exchange in a Coal-Measure Sedimentary Sequence

Lei Cao¹, Yiming Jiang², Hong Zhao², Hui Li³, Jun Wang², Jingzhou
Zhao¹

1.School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an
710065, Shaanxi, China;

2.Shanghai Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Shanghai 200335, China;

3.Exploration Department of Changqing Oilfield Branch of China Petroleum
Corporation, Xi'an 710000, China

摘 要: The Fischer-Tropsch synthesis (FTS) reaction has hitherto been reported only under laboratory conditions, in active hydrothermal systems and in altered bedrock; an unambiguous occurrence in sedimentary strata remains undocumented. Here we identify, for the first time, in situ FTS coupled with $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ carbon isotope exchange within coal-measure source rocks of the Pinghu Slope Belt, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin, providing new constraints on the long-debated origin of natural gas in this area. Gas composition and stable carbon isotope analyses of the Pinghu and Baoshi Formations reveal 3 trends: (A) concurrent ^{13}C enrichment of methane and CO_2 ; (B) lighter $\delta^{13}\text{C}_1$ coupled with anomalously heavier $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$; and (C) heavier or unchanged $\delta^{13}\text{C}_1$ with lighter $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ including anomalously heavy ($>-8\text{‰}$) and light ($<-30\text{‰}$) $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ values, none of which a purely thermogenic origin can explain. Integrated analysis of gas isotopes and compositions, source rock major and trace elements, formation water and heavy minerals indicates that the gas system consists of thermogenic gas admixed with inorganic contributions from Ni-catalyzed FTS, $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ carbon isotope exchange, hematite oxidation and thermochemical

通信作者: Jingzhou Zhao, School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, Shaanxi, China. E-mail: jzzhao@xsyu.edu.cn.

sulfate reduction (TSR). Intermediate–mafic provenance supplied anomalously high transition metal abundances to the source rocks (Ni: 1.8 ppm–150.0 ppm, mean 41.9 ppm; Co: 1.0 ppm–45.1 ppm, mean 15.5 ppm. etc); coexisting with CO₂ and H₂ released during thermal evolution, these metals enabled in situ Ni-catalyzed FTS and $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ carbon isotope exchange. Trend A records maturation-driven pyrolysis; trend B reflects FTS coupled with $\delta^{13}\text{C}_1$ – $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ exchange; trend C is governed by a depth-controlled hematite maximum (Fe₂O₃: 0.1 %–96.4 %, mean 11.4 %) near 4000 m, where hematite oxidation and TSR drive the opposing isotope anomalies. In the condensate gas reservoirs, the Tol/nC₇ ratio is jointly controlled by thermal maturity, organic matter type and evaporative fractionation, whereas evaporative fractionation does not measurably alter gas $\delta^{13}\text{C}$ values.

编号: NGGSF07002

柴达木盆地东坪地区基岩演化特征及油气地质意义

曾 旭, 田继先, 王 楠

中国石油勘探开发研究院 北京 100083

摘 要: 柴达木盆地受燕山、喜山等多期构造运动影响, 发育大面的分布的基岩储层, 是油气勘探重要目的层。本文基于系统开展柴北缘东坪地区基岩样品热年代学分析, 开展了基岩构造演化及油气成藏模式研究。研究认为: ①同一构造带, 基岩岩性有所差异, 东坪1井区基岩以片麻岩为主, 东坪3井区基岩以花岗岩为主, 但年龄基本相近, 表明后期构造演化对基岩改造作用强; ②磷灰石分析表明, 东坪构造南部(东坪1、坪1H-2-3)基底自中晚二叠世以来应该已经发生冷却抬升, 而北侧(东坪5、东坪7)则主体在早白垩世末期-晚白垩世早期发生冷却, 表明南北基底存在差异隆升剥露特点, 随着样品深度的增加年龄逐渐增加, 推测北侧(东坪5、东坪7)地区, 后期经历了更快速的抬升剥露; ③热史模拟表明, 阿尔金山前基岩经历了海西-印支-燕山运动晚期, 一直深埋, 埋藏深度达6800m, 仅伴随微幅度的隆升, 燕山运动晚期(晚白垩世)-早喜山运动快速抬升, 喜山运动早期-喜山运动中期(渐新世)快速埋藏, 喜山运动中期大幅抬升的四大演化阶段(图1); ④基岩储层分析表明, 构造运动控制了储层的分布, 基岩储层以裂缝、沿裂缝发育的溶蚀孔为主, 裂缝发育受断层活动性控制明显, 离断层越近裂缝越发育, 溶蚀作用是改善基岩储层物性条件最主要因素, 多期构造运动有利于基岩暴露, 断裂有利于沟通有机酸及溶蚀液体。⑤建立基岩邻凹供烃-断裂及不整合输导-斜坡保存-高部位调整的成藏模式(图2)。上述新认识深化了对基岩储层成藏认识, 为下一步有利勘探方向优选及高效开发提供了重要理论依据与技术支持。

关键词: 柴达木盆地; 基岩储层; 磷灰石裂变; 构造运动; 成藏模式

作者简介: 曾旭(1987-), 男, 高级工程师, 现在中国石油勘探开发研究院从事油气藏成藏研究, E-mail: zx69@petrochina.com.cn。

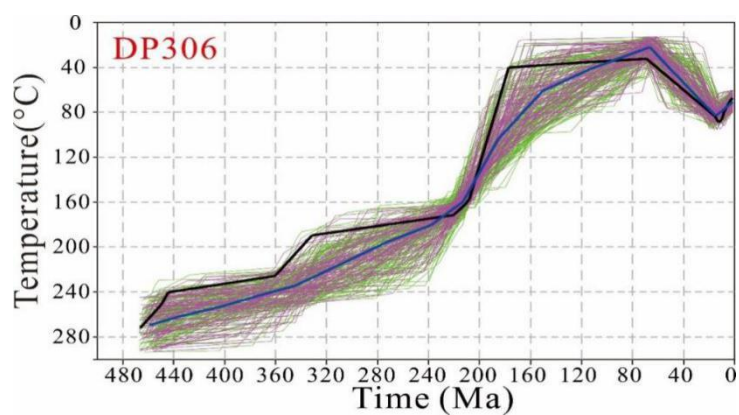


图1 东坪3井样品热史模拟结果

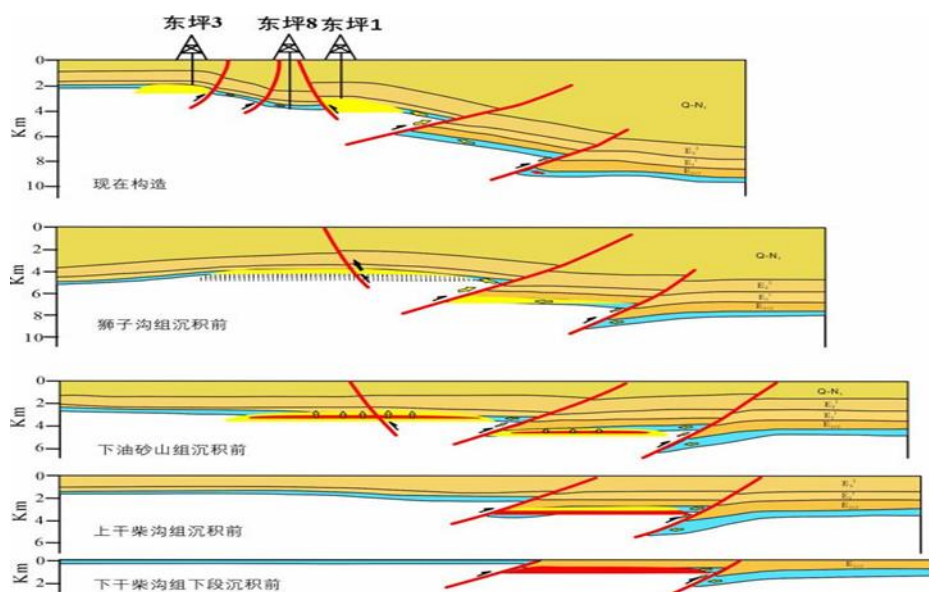


图2 东坪地区基岩油气成藏演化模式

参考文献

- 【1】付锁堂, 马达德, 陈琰, 等. 柴达木盆地阿尔金山前东段天然气勘探[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(6):1-13.
- 【2】田继先, 李剑, 曾旭, 等. 柴达木盆地东坪地区原油裂解气的发现及成藏模式[J]. 石油学报, 2020, 41(2): 154-162.

编号: NGGSF07003

海拉尔盆地贝尔凹陷南屯组致密油成藏规律研究

陈 浩, 张海桥, 王洪伟

大庆油田勘探开发研究院 黑龙江 大庆 163712

摘 要: 近年来, 海拉尔贝尔凹陷发现了较大资源潜力的致密油。为了弄清这些致密油的分布规律及特征, 通过应用各类地质、地球化学、钻井、录井及分析测试数据, 结合沉积学对致密油分布与地质特征进行了系统研究, 结果表明致密油在平面上主要分布在凹陷区与斜坡。纵向上, 主要分布在南屯组 2500~3000 米深度范围内。研究区南屯组发育优质烃源岩, 为致密油的形成提供了良好的物质基础。致密油储层主要为扇三角洲沉积, 砂体在平面上分布稳定、范围广, 连续性好; 致密油储层岩性主要为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩, 少量砂砾岩, 储层物性较差, 储层储集空间次生溶蚀孔隙为主, 局部裂缝较发育, 孔隙结构主要有粒间孔、粒间溶孔、微裂缝; 依据压汞曲线特征和岩心分析资料, 将储层划分为两种致密类型; 依据储层扇三角洲储集岩体直接与烃源岩接触源、储配置关系好。这些认识对研究区的致密油勘探具有一定的指导作用。

关键词: 海拉尔盆地; 贝尔凹陷; 致密油; 非常规油气

Study on the Accumulation Law of Tight Oil in Nantun Formation of Beier Depression in Hailar Basin

Chen Hao, Zhang Haiqiao, Wang Hongwei

Daqing Oilfield Exploration and Development Research Institute,

Daqing 163712, China

Abstract: In recent years, significant potential oil and gas resource has been explored in tight oil within the Bairin Depression of the Hailar basin. To clarify the distribution patterns and characteristics of these tight oils, a systematic study was conducted by integrating geological, geochemical, test oil, drilling, logging, and analytical testing data with sedimentology. The results indicate that tight oil is primarily distributed on the planar scale in the central and slope areas of the

通信作者: 陈浩, 男, 1982.11.04, 男, 硕士, 高级工程师, 沉积及层序地层学, 黑龙江省大庆市让胡路区科苑路 9 号. E-mail: chen hao01@petrochina.com.cn

depression. Vertically, it is mainly found within the 2,500-3,000-meter depth range of the Nantun Formation. The Nantun Formation in the study area features high-quality source rocks, providing an excellent material foundation for tight oil formation. The tight oil reservoirs are primarily composed of fan-delta deposits, with stable and extensive sand body distribution on the planar scale and good continuity. The lithology of the tight oil reservoirs mainly consists of fine sandstone, siltstone, and argillaceous siltstone, with minor sand conglomerate. The reservoir properties are relatively poor, with secondary dissolution pores being the dominant storage space, while local fractures are moderately developed. The pore structure mainly includes intergranular pores, intergranular dissolution pores, and microfractures. Based on the characteristics of mercury injection curves and core analysis data, the reservoir was classified into two types of tight formations; The fan-delta reservoir rocks are in direct contact with source rocks, resulting in favorable source-reservoir configuration. These findings provide valuable guidance for tight oil exploration in the study area.

Key words: Hailar Basin; Bell Depression; Tight oil; unconventional oil and gas

参考文献

- [1] 白雪峰.海拉尔盆地贝尔凹陷油气成藏模式与有利勘探方向[J]. 世界地质. 2014 年 02 期(2):441-447.
- [2] 李军辉; 卢双舫; 柳成志等. 贝尔凹陷贝西斜坡南屯组层序特征及其油气成藏模式研究 [J]. 沉积学报, 2009, 02 (1): 306-311
- [3] 李敬生.贝尔凹陷优质烃源岩的发现及其地质意义[J]: 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40 (3): 326-332.
- [4] 康德江, 庞雄奇, 张云峰. 贝尔凹陷苏德尔特潜山储集性能及其主控因素[J]: 石油勘探与开发, 2008, 04 (2): 188-194.
- [5] 李娟, 卫平生, 石兰亭, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷基岩储集层流体作用机制与成岩改造 [J]: 石油勘探与开发, 2020.2 (2): 45-56.
- [6] 崔鑫, 李江海, 王运增等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带基底裂缝特征及控制因素 [J]: 地质论评, 2016.9 (5): 1257-1270.
- [7] 施立志, 王卓卓, 张永生等. 松辽盆地齐家地区高台子油层致密油分布及地质特征 [J]: 天然气地球科学, 2014.12 (12): 1943-1950.
- [8] 贾承造, 郑民, 张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发前景 [J] .石油勘探与开发, 2012, 39 (2): 129-136.
- [9] 邹才能, 杨智, 陶士振, 等.纳米油气与源储共生型油气聚集 [J] .石油勘探与开发, 2012, 39 (1): 13-26.

编号: NGGSF07004

呼和湖凹陷原型盆地恢复及成藏规律研究

陈 浩, 陈鸿平

大庆油田勘探开发研究院 黑龙江 大庆 163712

摘 要: 摘要: 呼和湖凹陷是海拉尔盆地外围重要储量接替区, 勘探潜力巨大。长期以来一直以找油为主, 勘探效果不佳。本次以原型盆地恢复为研究手法, 通过成藏条件分析, 进一步明确下部勘探应以找气为主。并指明呼和湖凹陷东部陡坡带为寻找气藏的有利区。为下部勘探指明方向。

关键词: 海拉尔盆地; 呼和湖凹陷; 成藏规律; 天然气藏

关键词: 南缘; 深层; 天然气; 凝析油; 油气源; 准噶尔盆地

Research on the Restoration and Reservoir Formation of the Prototype Basin in the

Huhehu Depression

Chen Hao, Chen Hongping

Daqing Oilfield Exploration and Development Research Institute,

Daqing 163712, China

Abstract: The Huhu Depression is a crucial reserve replacement area on the periphery of the Hailar Basin, with significant exploration potential. Historically, exploration efforts have primarily focused on oil, yielding limited results. This study employs a restored prototype basin approach, analyzing hydrocarbon accumulation conditions to further clarify that future exploration in the lower section should prioritize gas. It identifies the steep slope zone in the eastern Huhu Depression as a favorable target for gas reservoirs, providing a clear direction for lower-section exploration.

Key words: Hailar Basin; Hu Hehu Depression; The Principle of Accumulation; Gas reservoir

作者简介: 陈浩, 男, 1982.11.04, 男, 硕士, 高级工程师, 沉积及层序地层学, 黑龙江省大庆市让胡路区科苑路 9 号. E-mail: chen hao01@petrochina.com.cn

编号: NNGSF07005

从构造到岩性：阳霞凹陷侏罗系岩性油气藏 勘探新认识

陈希光^{1,2}, 单 祥¹, 张知源^{1,2}, 刘 春^{1,2}, 易俊峰^{1,2}, 张 杰¹

1. 中国石油杭州地质研究院 浙江 杭州 310023;

2. 中国石油勘探开发研究院塔里木分院 新疆 库尔勒 841000

摘 要: 阳霞凹陷是塔里木盆地库车坳陷东部最大的生烃凹陷, 凹陷南北周边已陆续发现迪北、迪那、吐东、提耳根等多个油气藏, 但凹陷内部长期未能取得勘探突破。前期针对侏罗系部署的阳霞 1、阳霞 2、阳探 1, 均见到明显油气显示, 其中阳探 1 井侏罗系油气显示段累计长度达 900 米, 却始终未能形成规模油气藏突破。综合分析表明, 前期钻井失利的主要原因是构造圈闭落实精度不足。以往勘探普遍认为阳霞凹陷构造平缓、地质分异较弱, 过度依赖构造找藏思路, 制约了勘探成效。因此, 本次研究转变勘探思路, 由传统“找构造圈闭”向“找岩性圈闭”转变, 聚焦侏罗系阳霞组, 系统开展沉积特征、储层发育规律与成藏机制研究, 形成多项全新地质认识, 有力推动阳霞凹陷侏罗系岩性油气藏成为库车坳陷重要的风险勘探新领域。

研究表明, 第一, 阳霞组广泛发育辫状河三角洲沉积, 发育大面积优质砂体(图 1)。其中阳二段发育 9~12 期河道复合砂体, 最大累计厚度可达 140 米; 阳三段发育 3~7 期河道复合砂体, 最大累计厚度可达 174 米。多期河道砂体向南斜坡上倾方向逐层尖灭, 为形成大规模岩性圈闭提供了充足的物质基础。第二, 阳霞凹陷具备深层优质储层发育条件, 埋深 8000 米依然可保持优质储层特征, 预测孔隙度可达 7%~9%。优质储层主要受三重有利机制控制: 一是弱挤压低应力环境(图 2), 受吐格尔明背斜基底遮挡影响, 凹陷整体构造挤压作用微弱, 构造压实贡献率仅 11.5%~17.5%, 远低于北部强挤压区域; 二是特殊的埋藏演化过程, 凹陷整体呈现“长期浅埋、晚期快速深埋”的特征, 200 万年以来埋深才超过 2000 米, 较迪北地区浅埋时间显著延长, 有效减弱了压实减孔作用; 三是煤系地层溶蚀增孔, 煤系烃源岩在不同成岩阶段持续产生有机酸, 不断溶蚀长石、岩屑等矿物, 有效改善了深部储层的孔隙结构。

本次研究构建了阳霞组“源-断-砂匹配、构造-岩性复合控藏”的立体成藏模

式(图3):阳一段厚层湖相泥岩厚度超50米,可作为稳定的区域性盖层;阳二段、阳三段多期河道砂体为优质储集体,侧向泥岩形成有效遮挡,同时印支期古断裂晚期活化,有效沟通三叠系优质烃源岩,实现油气高效运移聚集。基于以上新认识,本次优选阳霞凹陷南斜坡构造稳定区为核心突破方向,划分两大有利勘探区带:I号区带面积约590km²,砂体厚度50~80米,天然气资源量达3000亿立方米;II号区带面积约1700km²,砂体厚度50~100米,天然气资源量达5400亿立方米。研究成果为库车坳陷油气勘探从构造油气藏向岩性油气藏战略转型提供了重要依据,是该区下一步油气勘探突破的关键方向。

关键词: 阳霞凹陷; 辫状河三角洲; 深埋优质储层; 岩性圈闭; 源-断-砂

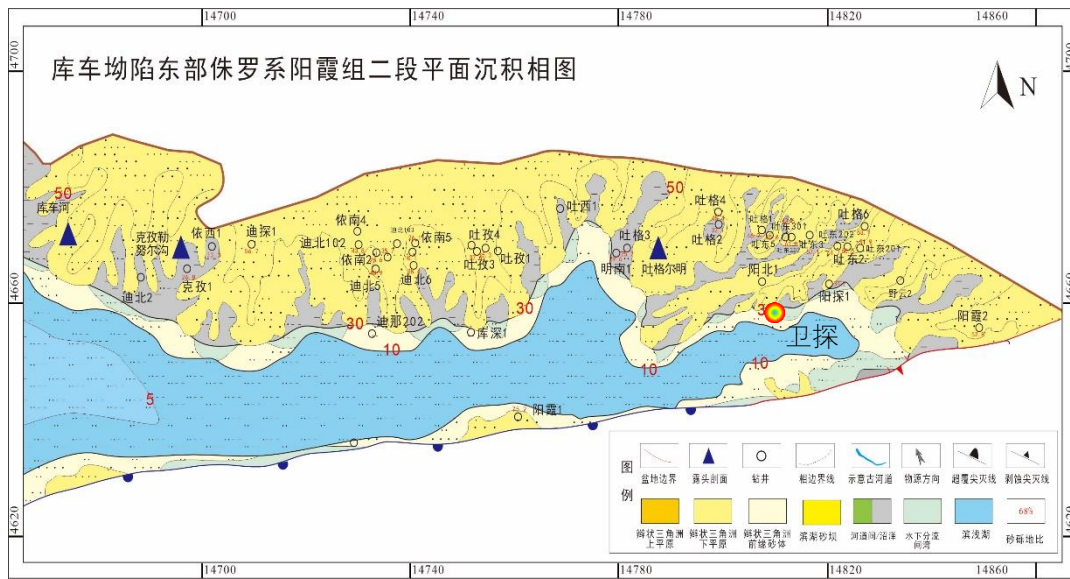


图1 库车坳陷东部侏罗系阳霞组二段平面沉积相图

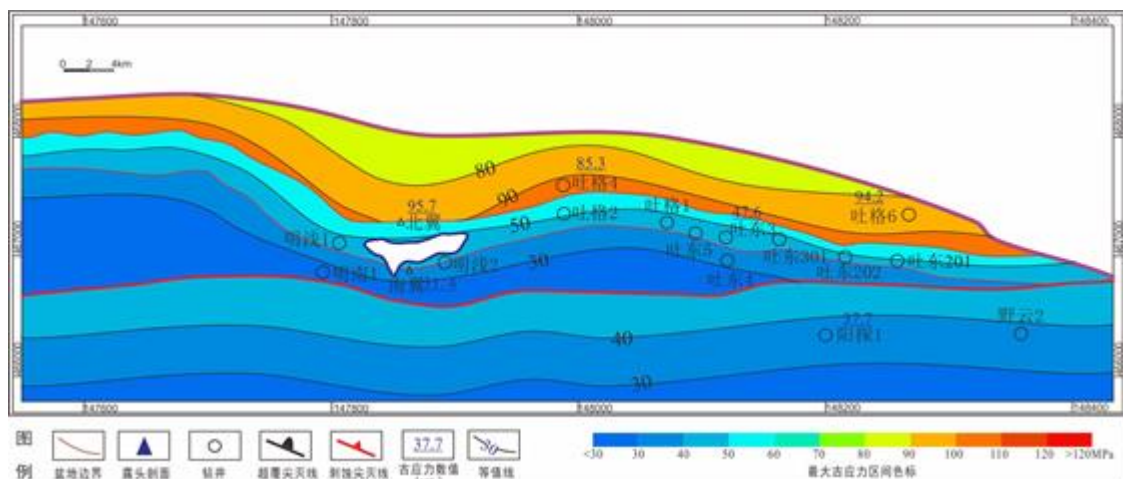


图2 吐东构造带侏罗系阿合组最大古构造应力分布图

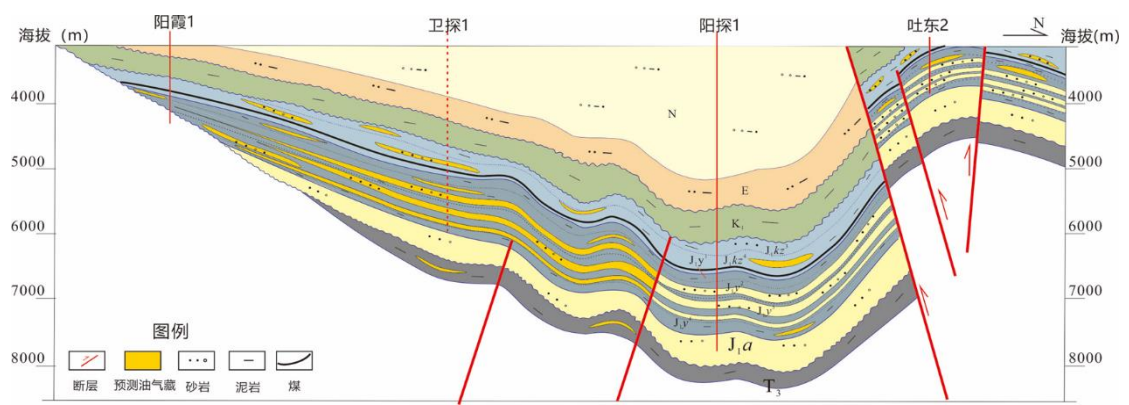


图 3 阳霞凹陷侏罗系阳霞组岩性油气藏成藏模式

编号: NNGSF07006

渝西地区龙潭组薄互层煤系储层特征及其控制因素

陈志鹏^{1,2}, 柏锦浩^{1,2}, 谢鹏辉^{1,2}, 廖思怡^{1,2}, 汪小龙^{1,2}

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

2. 西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065;

摘 要: 川南大安区块二叠系龙潭组煤系地层具有有机质丰度高、热成熟度高、含气性好、煤岩与页岩薄互层的特点, 是煤系气勘探开发的重要潜力层系。综合运用有机地球化学、X 射线衍射、扫描电镜、高压压汞、低温气体吸附、甲烷等温吸附及含气量测定等实验手段, 系统分析了该区煤系储层的岩石学、物性、孔隙结构与含气性特征, 探讨了优质储层的主控因素。结果表明: (1) 研究区煤系储层可划分为高镜惰比煤岩 ($V/I > 3$)、低镜惰比煤岩 ($V/I < 3$)、富高岭石页岩 (高岭石 $> 40\%$) 及富硅质页岩 (硅质 $> 15\%$) 4 类; 孔隙度整体表现为低镜惰比煤岩 (平均为 9.92%) 大于高镜惰比煤岩 (平均为 6.89%) 大于富高岭石页岩 (平均为 5.06%) 大于富硅质页岩 (平均为 3.61%)。 (2) 低镜惰比煤岩微孔、宏孔发育程度明显优于高镜惰比煤岩, 页岩介孔发育优于煤岩。镜质组决定生气潜力, 惰质组控制微孔与宏孔发育。 (3) 优质储层的形成与分布主要受基准面旋回、沉积环境、有机组分、矿物组分及孔隙结构协同控制。基准面旋回控制了优质储层的垂向叠置, 其中高位沼泽环境有利于低镜惰比煤岩与富高岭石页岩的发育, 形成“煤—泥炭—煤”对称型组合 (马鞍形), 是水平井靶体优选的甜点层段。研究成果可为川南地区过成熟薄互层煤系储层水平井靶体优选及煤系气高效开发提供重要的理论支撑与技术参考。

关键词: 深层煤岩; 龙潭组; 水平井靶体; 四川盆地; 孔隙结构

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42102177); 中国石油天然气股份有限公司科技项目“深地煤岩气成藏理论与效益开发技术研究” (2023ZZ18YJ01); 中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“煤岩气富集规律与开发机理研究” (2024DJ23)。

作者简介: 陈志鹏 (1987-), 男, 江西吉安人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事非常规油气地质及油气成藏地质学研究。E-mail: chenzipeng305@163.com.

编号: NGGSF07007

深层煤层气水平井产能主控因素研究与人工定容气藏定义——以鄂尔多斯盆地东部为例

费世祥¹, 许广军¹, 刘志凯¹, 张臣松¹, 雷小兰¹, 张城玮², 蒋婷婷², 刘田¹, 董晨洁¹

1. 中国石油长庆油田分公司 第二采气厂 陕西 榆林 719000;

2. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院 陕西 西安 710018

摘 要: 随着鄂尔多斯盆地东部深层煤层气实现规模效益开发, 其相较常规砂岩气独特地质特征与生产特征逐步被揭示, 但现有研究多围绕浅层煤层气排水降压机理展开, 对深层煤层气地质-工程耦合的产能响应规律认识不清, 未阐明其开发本质主要依赖于人工改造。本文以鄂尔多斯盆地东部本溪组 8# 深层煤层为研究对象, 基于大量水平井的地质、工程与生产动态的全维度数据, 采用单因素相关性分析与多方法耦合评价相结合的技术思路, 系统剖析了深层煤层气井产能主控因素, 建立了气井投产初期产能快速评价方法, 首次提出深层煤层气“人工定容气藏”的科学定义, 系统解析了其核心内涵、形成机制及评价方法。研究表明: ①深层煤层气水平井受“煤层钻遇有效长度、煤层厚度、进液强度”三大因素主控, 其中地质条件是产能基础、工程优化是产能提升核心; ②目标区深层煤层气井生产 90 天的套压和平均日产气量按 3:7 组合能够较稳定表征初期产能, 预测的 EUR 相对误差平均仅为 9.2%, 可用于研究区同类型深层煤层气水平井投产初期的快速分类、产能潜力判断及 EUR 预测; ③与天然形成的常规气藏不同, 深层煤层气藏无自然产能, 需采用“水平井+大规模水力压裂”构建复杂裂缝网络形成“人工定容气藏”, 其气藏边界、体积和产能特性主要由工程参数(如压裂规模、簇间距、液量等)塑造和控制。研究成果丰富了非常规天然气开发理论, 为鄂尔多斯盆地深层煤层气的效益开发提供了重要理论依据与技术支持。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 深层煤层气; 水平井; 产能主控因素; 产能快速评价方法; 人工定容气藏; 储层改造体积; 地质工程一体化。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司攻关性应用性科技专项(编号: 2023ZZ18YJ04); 国家科技重大专项(编号: 2016ZX05047-001)联合资助。

作者简介: 费世祥(1984-), 男, 宁夏固原人, 学士, 教授级高级工程师, 主要从事天然气开发管理方面的研究。E-mail: fshix_cq@petrochina.com.cn。

编号: NNGSF07008

四川盆地震旦系构造-沉积分异演化与岩相古地理格局

付小东, 朱心健, 曹全斌, 徐哲航, 隆 辉, 王兆旗, 邢海龙
中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023

摘 要: 四川盆地位于上扬子克拉通内, 震旦系是该盆地天然气勘探的重要层系, 近年已发现探明储量约 1.45 万亿立方米的安岳大气田, 同时还获得多个重要勘探发现。以“跳出四川看四川”思想为指导, 从上扬子整体研究角度出发, 系统恢复了四川盆地震旦系陡山沱组-灯影组不同时期岩相古地理格局, 重建了沉积演化过程, 揭示构造-沉积分异对优质源储发育展布控制作用, 指导天然气勘探部署。

震旦系陡山沱组沉积期四川盆地内川中-川东发育北东向大型水上古隆起, 古隆起周缘发育多个拗陷, 地层由拗陷区向古隆起区超覆沉积。陡一段-陡三段地层在古隆起区大范围缺失, 环古隆起发育混积潮坪、浅水陆棚沉积; 陡四段时期发生大规模海侵, 古隆起接受沉积, 演化为碳酸盐台地, 台地边缘拗陷主要为浅水陆棚-深水陆棚相沉积, 发育富有机质泥页岩。陡山沱组时期已存在的大型基底古隆起奠定了后期灯影组构造-岩相古地理基础格局。

震旦系灯影组沉积期上扬子克拉通总体处于伸展构造背景, 克拉通内大型裂陷与古隆起并存, 呈现“三隆两拗”构造-沉积格局, 在四川盆地内发育近南北向的德阳-安岳古裂陷、以及继承性发育的北东向大型古隆起, 控制了灯影组沉积演化过程与岩相古地理格局。综合地质、地球化学、地球物理证据调整灯影组层序地层划分方案, 新建盆地级等时地层格架剖面, 将灯影组划分为 3 个三级层序, 其中灯一段为 SQ1 沉积, 灯二段为 SQ2 沉积; 灯三段为 SQ3 海侵域沉积、灯四段为 SQ3 高位域沉积。基于新地层划分方案, 首次实现全盆范围内灯一段、灯二段地层解释追踪与分布刻画, 在此基础上提出灯影组发育灯一、灯二、灯四三期大型台缘新认识, 重建了灯影组构造-沉积分异演化过程与不同时期岩相古地理格局。

灯影组构造-沉积分异演化过程大致划分为六个阶段: ①灯一段沉积期: 碳酸盐岩台地与水上古隆起并存, 早期发生海侵, 地层向川中-川东古隆起超覆沉

积特征明显；克拉通内德阳-安岳裂陷出现雏形并改造早期古隆起；裂陷两侧台地边缘发育第一期规模台缘丘滩带，目前该套丘滩储层勘探程度低；环水上古隆起发育潮坪与局限台地沉积。②灯二段沉积期：底部地层向古隆起和早期灯一台缘地貌高带双向上超，碳酸盐岩台地沉积范围扩大导致古隆起全面淹没；德阳-安岳裂陷持续发育，裂陷两侧台地边缘发育第二期规模台缘丘滩带，受海平面上升与构造沉降的影响，该期台缘带向古隆起方向退积迁移。③灯二段末期：桐湾运动Ⅰ幕构造运动导致大规模海退，灯二段差异剥蚀，台缘带顶界面削蚀改造明显，形成残留型台缘带；丘滩有利相带叠加大气淡水淋溶与风化剥蚀改造形成一套优质储层。④灯三段沉积期：发生快速海侵事件，地层以近水平姿态大范围上超覆盖于灯二段残余地层之上，二者角度不整合接触明显。受前期残留古地貌控制，灯三段出现显著沉积分异，形成古隆起区发育浅水陆棚碳酸盐岩、裂陷与坳陷区发育深水陆棚相泥页岩的二元沉积格局，深水陆棚相泥页岩为一套优质烃源岩。⑤灯四段沉积期：伸展性构造活动导致台槽分异格局进一步强化，德阳-安岳裂陷规模扩大并南北贯穿整个四川盆地，裂陷两侧古隆起边缘发育第三期规模台缘丘滩带。⑥灯四段末期：桐湾运动Ⅱ幕构造运动导致灯四段地层大面积抬升剥蚀，顶界面削蚀改造明显，形成残留型台缘带。灯四段台缘和台内丘滩经风化剥蚀改造与大气淡水溶蚀，全区广泛发育岩溶缝洞系统，成为四川盆地灯影组天然气藏最核心的储集层段。同时，该时期形成的大隆大坳古地貌格局后续控制早寒武世麦地坪组-筇竹寺组厚层优质烃源岩发育展布，与下伏灯影组各段储层构成有利源储组合。

构造差异沉降-海平面多期升降耦合控制灯影组不同时期台缘带空间迁移，不同地区形成三种类型台缘结构，既连续沉降+强退积型、间歇沉降+强退积型、弱沉降+强加积型三类台缘。总体而言，灯一段原生台缘带保留完整，灯二、灯四段台缘带经历后期剥蚀改造影响强，为残留型台缘。基底古隆起、海平面升降、伸展裂陷活动、构造抬升运动多要素叠加、动态耦合控制了陡山沱组、灯三段、麦地坪组-筇竹寺组两套优质烃源岩，以及灯一段、灯二段、灯三段三套台缘丘滩优质储层发育展布，构成“下生上储”、“旁生侧储”、“上生下储”多类型有利源储组合，为天然气规模聚集成藏奠定了良好基础。

关键词：四川盆地；震旦系；构造-沉积分异演化；岩相古地理格局；源储组合

编号: NGGSF07009

渝西地区深层页岩气储层特征与富集规律

付永红, 谷一凡, 张人境, 姚莲芯, 刘佳勇

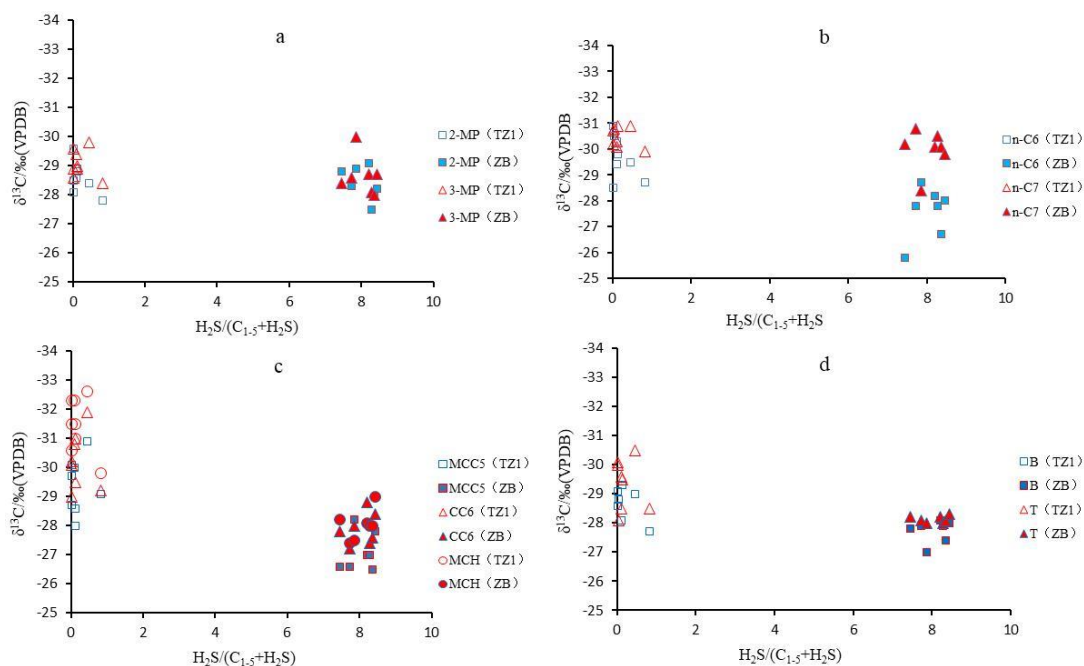
西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都 610500

摘 要: 近期四川盆地渝西地区龙马溪组近剥蚀区薄页岩气储层存在高孔隙度、高含气量特征, 对现有储层孔隙发育与页岩气富集认识提出了挑战。本文以渝西地区龙一1亚段典型页岩气井岩心为对象, 采用多类实验方法, 表征近剥蚀区页岩气储层的物质组成、储集空间与含气性特征, 探讨沉积、构造作用对页岩气富集的控制机理。结果表明: ①渝西地区龙一1亚段页岩矿物以石英(30%~70%)、黏土矿物(10%~60%)为主, 碳酸盐矿物含量 5%~30%; 远离龙马溪组地层剥蚀区, 石英与 TOC 含量增加, 黏土与碳酸盐矿物含量降低; ②弥陀场向斜近剥蚀区页岩气储层有机孔发育程度高、孔径大, 无机孔以粒内溶蚀孔为主; 远离剥蚀区的蒲吕场向斜页岩气储层有机孔发育井间差异大, 粒内孔相对较发育; 弥陀场向斜页岩气储层孔隙度(7.2%)大于蒲吕场向斜(3.9%); ③研究区页岩气储层总含气量介于 3.6~10.0 m³/t, 游离气占比平均为 57.6%, 其中弥陀场向斜页岩气储层含气量(6.15 m³/t)高于蒲吕场向斜(4.06 m³/t); ④高沉积古地貌页岩储层碳酸盐矿物含量高、粉砂质纹层发育, 利于原始粒间孔及其中有机孔保存和粒内/粒缘溶蚀孔发育, 促进游离气富集; 构造平缓的弥陀场向斜页岩气富集受控于距 II 级断层距离; 强挤压的蒲吕场向斜页岩气富集主要受控于构造部位; ⑤建立了渝西近剥蚀区页岩气富集模式, 指出平缓向斜内陆棚高地、远离大型断裂带的储层为有利勘探目标, 强挤压向斜内的构造低部位与底部局部隆起区具备找"甜点"区的潜力, 为该区域页岩气勘探开发提供了理论依据与实践指导。

关键词: 渝西地区; 近剥蚀区; 龙马溪组; 页岩气储层; 页岩气富集; 主控因素

关键词: TSR; 天然气轻烃; 碳同位素

作者简介: 付永红(1990-), 四川宜宾人, 主要从事非常规油气地质与开发地质研究, E-mail: fyh_swpu@163.com.


 图 1 塔中I号气田和中坝气田天然气轻烃单体碳同位素与 $H_2S/(C_{1-5}+H_2S)$ 关系图

参考文献

- [1]胡国艺,李谨,李志生,等.煤成气轻烃组分和碳同位素分布特征与天然气勘探[J].石油学报,2010,31(1): 42-48.
- [2]蒋助生,罗霞,李志生,等. 苯、甲苯碳同位素组成作为气源对比新指标的研究[J].地球化学,2000,29(4): 410-415.
- [3]Whiticar M J, Snowdon L R. Geochemical characterization of selected Western Canada oils by C_5 - C_8 Compound Specific Isotope Correlation (CSIC)[J]. Organic Geochemistry,1999,30(9):1127-1161.
- [4]Cai C F, Hu W S, Worden R H. Thermochemical sulphate reduction in Cambro-Ordovician carbonates in Central Tarim[J].Marine and Petroleum Geology, 2001,18:729-741.

编号: NGGSF07010

准噶尔盆地下二叠统风城组生气潜力新认识与天然气勘探突破

龚德瑜¹, 唐 勇², 何文军², 刘 刚¹, 王瑞菊¹, 吴卫安¹

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油新疆油田分公司, 新疆 克拉玛依 834000

摘 要: 准噶尔盆地的油气勘探历史可以追溯到 1909 年, 距今已逾百年。2021 年, 准噶尔盆地生产原油 1370 万吨, 天然气 34.87 亿方, 已成为我国最重要的油气生产基地之一。目前, 盆地石油的探明率为 32.6%, 已进入勘探中期阶段, 而天然气的探明率仅为 5.4%, 勘探进展缓慢。

前人研究表明, 石炭系和侏罗系腐殖型烃源岩是盆地目前主要的两套气源岩。2006 年, 在准噶尔盆地东部发现了克拉美丽大气田, 天然气探明地质储量达 $822.86 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是盆地迄今为止发现的最大气田。气源对比表明, 其天然气为来自石炭系烃源岩的煤型气。此外, 在盆地南缘, 中下侏罗统煤系烃源岩已进入高—过成熟阶段, 可大量生气。玛河气田, 呼图壁气田、高探 1 井、呼探 1 井、天湾 1 井等一批中小型气田和出气井点的天然气即来自该套烃源岩。

除上述两套腐殖型烃源岩外, 盆地下二叠统风城组还发育一套优质的咸水湖相腐泥型烃源岩。这套烃源岩厚度大, 分布广, 品质优, 2011 年发现的玛湖十亿吨级大油田, 原油即来自风城组烃源岩。前人研究更多的围绕这套烃源岩的生气能力, 其生气潜力尚未得到重视。近年来, 在盆地腹部、西部和南缘地区发现了一些来自风城组烃源岩的高熟油型气, 风城组的天然气勘探潜力正越来越多地受到关注。

本文基于盆地最新钻井和地震资料, 利用生烃动力学、同位素动力学、有机岩石学和盆地模拟等手段, 系统分析了西部坳陷天然气成因来源和风城组烃源岩的生气潜力。本次研究在西部坳陷发现了四种类型的天然气。第 I 类天然气来自风城组湖相烃源岩; 第 II 类天然气为来自石炭系和下二叠统佳木河组高—过成熟腐殖型烃源岩的煤型气。第 III 类天然气为第 I 和 II 类天然气的混合物。第 IV 类天然气为油藏破坏后发生生物降解而形成的次生生物气。第 I 类天然气构成了西部坳陷天然气的主体。风城组烃源岩岩性复杂, 除暗色泥页岩外, 还包括沉凝

灰岩、含凝灰白云质泥岩、钙质泥岩、硅化白云质页岩及硅硼钠石岩等。烃源岩有机质类型好,为 I—II₁ 型,总体属于中等—好烃源岩。在沙湾和盆 1 井西凹陷,风城组烃源岩在早、晚白垩世先后进入生气高峰,生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的面积达 13000 km^2 ,具备形成大中型气田的资源潜力,发育近源岩性地层型和近源/源内构造型两类有利勘探目标。研究成果推动了沙探 2、盆北 1、湾探 1、风云 1 等一批重点探井天然气获突破,一个新的万亿方大气区初见端倪。风城组含气系统有望成为继石炭系和侏罗统系两大含气系统之后,盆地天然气勘探重大接替领域。

关键词: 准噶尔盆地; 西部坳陷; 风城组; 天然气; 勘探潜力

编号: NGGSF07011

中国海相碳酸盐岩大气田天然气成因

国建英^{1,2}, 李 剑^{1,2}, 谢增业^{1,2}

1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083;

2. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室 北京 100083

摘 要: 碳酸盐岩层系油气是全球油气资源的重要组成部分^[1-4], 其储量约占全球常规油气总储量的 60% 以上^[5]。中国石油最新油气资源评价表明, 全球碳酸盐岩资源量约为 $3\,995 \times 10^8$ t 油气当量, 其中剩余可采储量约 $2\,160 \times 10^8$ t 油气当量, 待发现资源量约 $1\,300 \times 10^8$ t 油气当量^[5,6], 勘探潜力巨大。

中国海相碳酸盐岩的油气勘探始于 1958 年的四川盆地川中会战^[7]。60 多年来, 中国在广大的碳酸盐岩沉积区都进行了油气勘探, 但规模气藏的发现集中在四川、鄂尔多斯和塔里木三大盆地中; 层系上, 主要分布在三叠系(中下统)、二叠系(中上统)、石炭系、奥陶系、寒武系和震旦系。截至 2023 年底, 中国已发现天然气 $>300 \times 10^8$ m³ 的大型气田 79 个, 其中, 碳酸盐岩大气田有 18 个, 探明地质储量为 4.20×10^{12} m³, 占大气田总量的 28.0%。目前, 中国下古生界海相碳酸盐岩油气探明率仅有 6.3%, 比国外海相层系 70% 的油气探明率和中国陆相层系 40% 的油气探明率低得多, 因此海相碳酸盐岩层系油气勘探前景广阔, 是中国重要的资源潜力区与现实的战略接替区^[8-9]。我国海相碳酸盐岩层系多为叠合-改造-多阶段演化盆地, 具有多源多期生烃、热演化程度高、多期运聚成藏及调整改造的特点^[10-12]。在此复杂背景下, 天然气成因鉴别存在诸多问题: 因天然气热成熟度高导致常规地球化学指标失效, 气源成因类型判别存在多解性; 多源混源普遍发育, 主力气源岩与混源比例定量刻画困难; 热化学硫酸盐还原作用(TSR)、气侵、分馏等次生改造作用强烈, 原始地球化学信号失真严重等^[13-16]。针对天然气成因与来源方面的问题, 本文重点围绕四川、鄂尔多斯、塔里木等三大海相盆地, 聚焦碳酸盐岩大型气田, 从天然气形成地质条件、天然气地球化学特征、天然气成因、天然气来源与气藏形成演化等方面开展分析和论述, 以期对我国深层—超深层碳酸盐岩大气田的勘探研究有所裨益。

结合天然气藏基本地质要素、天然气藏形成地质条件, 基于 940 个样本数据分析了中国碳酸盐岩大气田的天然气成因、来源与气藏形成过程。结果表明: ①

作者简介: 国建英, 博士, 高级工程师, 从事油气地球化学和成藏研究.E-mail: gjy_17711224@petrochina.com.cn

三大盆地碳酸盐岩大型气田特征存在一定共性和差异性。储层普遍具有低孔、低渗—特低渗特征，天然气探明地质储量 $>1\ 000\times 10^8\ \text{m}^3$ 的气藏以低压—常压气藏为主，但在产层分布、气藏埋深、压力系数及孔渗条件上存在明显差异。②三大盆地碳酸盐岩大型气田的天然气组成、同位素特征差别较大，指示三大盆地的天然气母质类型和热成熟度存在一定差别。③三大盆地碳酸盐岩天然气以高—过成熟原油裂解气为主，成熟干酪根裂解气为辅；母质类型以油型气为主，初步估算占比约 88%，煤型气为辅，占比 12%；并经历 TSR、气侵等次生改造作用。④三大盆地碳酸盐岩天然气均为多源供气，四川盆地有 5 套，鄂尔多斯盆地有 2 套，塔里木盆地有 2 套。⑤中国海相碳酸盐岩大气田发育高地温场背景下的古油藏“原位”原油裂解气成藏、低地温场背景下的气侵型气藏成藏、双源混合型裂解气成藏成藏和断盖耦合控制的立体成藏等 4 种成藏模式。

关键词：海相碳酸盐岩；大气田；天然气成因；气源对比；气藏形成演化；原油裂解气；气侵；四川盆地；鄂尔多斯盆地；塔里木盆地

参考文献

- [1] DYMAN T S, CROVELLI R A, BARTBERGER C E, et al. Worldwide estimates of deep natural gas resources based on the U.S. geological survey world petroleum assessment 2000[J]. *Natural resources research*, 2002, 11(3): 207-218.
- [2] 白国平, 曹斌风. 全球深层油气藏及其分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(1): 19-25.
- BAI Guoping, CAO Binfeng. Characteristics and distribution patterns of deep petroleum accumulations in the world[J]. *Oil & gas geology*, 2014, 35(1): 19-25.
- [3] 马永生, 黎茂稳, 蔡勋育, 等. 中国海相深层油气富集机理与勘探开发: 研究现状、关键技术瓶颈与基础科学问题[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(4): 655-672, 683.
- MA Yongsheng, LI Maowen, CAI Xunyu, et al. Mechanisms and exploitation of deep marine petroleum accumulations in China: advances, technological bottlenecks and basic scientific problems[J]. *Oil & gas geology*, 2020, 41(4): 655-672, 683.
- [4] 马永生, 蔡勋育, 黎茂稳, 等. 深层—超深层海相碳酸盐岩成储成藏机理与油气藏开发方法研究进展[J]. *石油勘探与开发*, 2024, 51(4): 692-707.
- MA Yongsheng, CAI Xunyu, LI Maowen, et al. Research advances on the mechanisms of reservoir formation and hydrocarbon accumulation and the oil and gas development methods of deep and ultra-deep marine carbonates[J]. *Petroleum exploration and development*, 2024, 51(4): 692-707.
- [5] 倪超, 乔占峰, 李文正, 等. 全球碳酸盐岩大油气田分布与勘探新领域[J]. *海*

相油气地质, 2025, 30(5): 385-400.

NI Chao, QIAO Zhanfeng, LI Wenzheng, et al. Giant carbonate oil and gas fields: global distribution and new exploration frontiers[J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(5): 385-400.

[6]DOU Lirong, WEN Zhixin, WANG Zhaoming. Global oil and gas resources: potential and distribution[M]. Singapore: Springer, 2024.

[7]金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.

JIN Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins[J]. Earth science frontiers, 2005, 12(3): 15-22.

[8]刘文汇, 腾格尔, 王晓锋, 等. 中国海相碳酸盐岩层系有机质生烃理论新解[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 155-164.

LIU Wenhui, TENG Geer, WANG Xiaofeng, et al. New knowledge of hydrocarbon generating theory of organic matter in Chinese marine carbonates[J]. Petroleum exploration and development, 2017, 44(1): 155-164.

[9]刘文汇. 中国早古生代海相碳酸盐岩层系油气地质研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2019, 38(5): 871-880.

LIU Wenhui. Advances in oil and gas geology of the Early Paleozoic marine carbonate strata in China[J]. Bulletin of mineralogy, petrology and geochemistry, 2019, 38(5): 871-880.

[10]金之钧. 我国海相碳酸盐岩层系石油地质基本特征及含油气远景[J]. 前沿科学, 2010, 4(1): 11-23.

JIN Zhijun. Petroliferous features of marine carbonate strata and hydrocarbon resource prospects in China[J]. Frontier science, 2010, 4(1): 11-23.

[11]朱光有, 赵文智, 梁英波, 等. 中国海相沉积盆地富气机理与天然气的成因探讨[J]. 科学通报, 2007(增刊 1): 46-57.

ZHU Guangyou, ZHAO Wenzhi, LIANG Yingbo, et al. Discussion on the enrichment mechanism of natural gas and its genesis in China's marine sedimentary basins[J]. Chinese science bulletin, 2007(S1): 46-57.

[12]张水昌, 梁狄刚, 朱光有, 等. 中国海相油气田形成的地质基础[J]. 科学通报, 2007(增刊 1): 19-31.

ZHANG Shuichang, LIANG Digang, ZHU Guangyou, et al. The geological foundation for the formation of offshore oil and gas fields in China[J]. Chinese science bulletin, 2007(S1): 19-31.

[13]赵文智, 汪泽成, 张水昌, 等. 中国叠合盆地深层海相油气成藏条件与富集区带[J]. 科学通报, 2007(增刊 1): 9-18.

ZHAO Wenzhi, WANG Zecheng, ZHANG Shuichang, et al. Deep marine oil and gas accumulation conditions and enrichment zones in superimposed basins in China[J]. Chinese science bulletin, 2007(S1): 9-18.

[14]赵文智, 胡素云, 刘伟, 等. 再论中国陆上深层海相碳酸盐岩油气地质特征与勘探前景[J]. 天然气工业, 2014, 34(4): 1-9.

ZHAO Wenzhi, HU Suyun, LIU Wei, et al. Petroleum geological features and exploration prospect in deep marine carbonate strata onshore China: a further discussion[J]. Natural gas industry, 2014, 34(4): 1-9.

[15]赵文智, 汪泽成, 胡素云, 等. 中国陆上三大克拉通盆地海相碳酸盐岩油气藏大型化成藏条件与特征[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊 2): 1-10.

ZHAO Wenzhi, WANG Zecheng, HU Suyun, et al. Large-scale hydrocarbon accumulation factors and characteristics of marine carbonate reservoirs in three large onshore cratonic basins in China[J]. Acta petrolei sinica, 2012, 33(S2): 1-10.

[16]贾承造, 庞雄奇. 深层油气地质理论研究进展与主要发展方向[J]. 石油学报, 2015, 36(12): 1457-1469.

JIA Chengzao, PANG Xiongqi. Research processes and main development directions of deep hydrocarbon geological theories[J]. Acta petrolei sinica, 2015, 36(12): 1457-1469.

编号: NGGSF07012

基于相场法的深层页岩薄互夹层水力裂缝纵向扩展规律研究

郝江^{1,3}, 郭肖^{1,2}, 王皓东^{1,2}, 陈祖伟^{1,2}, 王作豪^{1,2}

1.西南石油大学 四川 成都 610500; 2.油气藏地质及开发工程全国重点实验室
四川 成都 610500; 3.西安石油大学 陕西 西安 710065

摘 要: 针对深层页岩薄互夹层水力裂缝纵向扩展规律不清的问题, 本文旨在揭示深层页岩薄互夹层裂缝纵向穿层规律及水平井水平段薄互夹层轨迹选择规律。基于 COMSOL Multiphysics 软件, 结合深层页岩岩芯岩石力学测量数据与相场法建立数值模型, 并通过实验室小型岩芯压裂实验裂缝扩展特征及实际压裂改造工程测定的破裂压力、裂缝延伸压力进行拟合校正。结果表明, 深层页岩水力压裂中天然裂缝会捕获水力裂缝并影响液体改造效率; 簇间距小于 15 m 时压裂缝纵向扩展高度差异较大, 不利于压裂缝整体纵向布缝; 原位断裂能释放率决定深层页岩水平段轨迹选层。该认识可有效拓展深层页岩薄互夹层储层水平段轨迹选层, 提高布缝技术增大改造体积, 并结合地质工程一体化方法合理布置射孔位置。

关键词: 深层页岩; 薄互夹层; 水力裂缝; 纵向扩展; 相场法; 水平井轨迹; 原位断裂能释放率

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (52474046) 和新型油气勘探开发国家科技重大专项 (2025ZD1404103) 资助

作者简介: 郝江, E-mail: haojiang2010@126.com

编号: NGGSF07013

川东地区二叠系茅口组云化滩的发现及天然气勘探潜力

郝 毅, 李文正, 谷明峰, 朱可丹

中国石油杭州地质研究院 浙江 杭州 310023

摘 要: 四川盆地二叠系茅口组是天然气勘探的重点层系, 茅口组勘探先后以四川盆地南部(下文简称蜀南)地区岩溶缝洞型石灰岩储层和四川盆地中部(下文简称川中)地区云化滩相储层为主目的层。为了寻找并落实茅口组下一个勘探新领域, 在勘探程度相对低的四川盆地东部(下文简称川东)地区进行了大量工作, 在重新梳理地层格架的基础上, 对沉积、储层及成藏条件进行了系统分析, 明确了勘探潜力。研究结果表明: ①川东地区在孤峰段事件性硅质岩沉积之前, 宣汉—万州地区茅二下亚段发育碳酸盐岩孤立浅滩, 面积可达 6 500 km²; ②宣汉—万州地区茅二下亚段发现滩相基质孔储层, 其中发育于茅二下亚段底部的孔隙型白云岩储层厚约 3.0~12.0 m, 发育于茅二下亚段中上部的孔隙型石灰岩储层厚约 5~18 m; ③川东地区茅口组滩相储层成藏条件优越, 其中烃源岩主要为上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组厚层页岩, 且通源断裂发育, 区域盖层主要为孤峰段硅质岩及吴家坪组海相泥岩、页岩, 保存条件良好。研究结论认为, 川东地区茅口组大面积分布的高能浅滩有望成为下一个天然气勘探开发接替领域。

关键词: 四川盆地; 二叠系; 茅口组; 云化滩; 勘探潜力

主要参考文献:

杨雨, 谢继容, 赵路子, 等. 四川盆地茅口组滩相孔隙型白云岩储层天然气勘探的突破及启示——以川中北部地区JT1井天然气立体勘探为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 1-9.

印长海, 师江波, 郑剑锋, 等. 四川盆地合川-潼南地区茅二段滩相白云岩储层特征、主控因素及勘探意义[J]. 大庆石油地质与开发, 2023, 42(1): 1-10.

郝毅, 姚倩颖, 田瀚, 等. 四川盆地二叠系茅口组沉积特征及储层主控因素[J]. 海相油气地质, 2020, 25(3): 202-209.

付小东, 陈娅娜, 罗冰, 等. 四川盆地北部中二叠统茅口组孤峰段优质烃源

作者简介: 郝毅, E-mail: 191102520@qq.com

岩特征及其油气地质意义[J]. 地质学报, 2021, 95(6): 1903-1920.

李让彬, 段金宝, 潘磊, 等. 川东地区中二叠统茅口组白云岩储层成因机理及主控因素[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(9): 1347-1357.

胡东风, 王良军, 黄仁春, 等. 四川盆地东部地区中二叠统茅口组白云岩储层特征及其主控因素[J]. 天然气工业, 2019, 39(6): 13-21.

何昌兴悦, 陈康, 李承泽, 等. 四川盆地东部卧龙河地区茅口组白云岩储层地震响应特征[J]. 天然气勘探与开发, 2023, 46(4): 107-115.

韩月卿, 张军涛, 潘磊, 等. 川东南中二叠统茅口组白云岩特征与成因机理[J]. 地学前缘, 2023, 30(6): 45-56.

王良军, 李红, 曾韬, 等. 四川盆地东部茅口组白云岩成因: 来自岩石学、矿物学和地球化学的证据[J]. 古地理学报, 2022, 24(5): 989-1016.

高博乐, 金吉能, 鄢杰, 等. 四川盆地东部卧龙河地区中二叠统茅口组白云岩岩石物理特征及分布预测[J]. 天然气地球科学, 2019, 30(2): 168-175.

郝毅, 刘冉, 李成海, 等. 川东地区茅口组云化滩相储层特征及分布[J]. 天然气勘探与开发, 2023, 46(4): 47-56.

四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志: 卷十-四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.

四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

刘昇, 范存辉, 张本健, 等. 四川盆地东部中二叠统茅口组孤峰段展布特征及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(4): 993-1008.

MURCHEY B L, JONES D L. A mid-Permian chert event: Widespread deposition of biogenic siliceous sediments in coastal, island arc and oceanic basins[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1992, 96(1/2): 161-174.

徐婷, 袁海锋, 陈聪, 等. 川中磨溪—龙女寺构造中二叠统茅口组白云岩成因分析[J]. 天然气地球科学, 2024, 35(1): 13-29.

方进, 张连进, 郑斌嵩, 等. 构造作用约束下的川中龙女寺地区茅口组白云岩储层成因分析[J]. 天然气勘探与开发, 2023, 46(4): 13-26.

肖钦仁, 袁海锋, 叶子旭, 等. 川中北部地区八角场构造二叠系茅口组白云岩储层成因机制[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(7): 1218-1236.

朱茂, 黄世伟, 宋叙, 等. 四川盆地潼南—合川区块中二叠统白云岩储层形成主控因素与勘探区带预测[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(4): 149-161.

编号: NGGSF07014

川南深层-超深层筇竹寺组天然裂缝成因演化对页岩气差异富集影响研究

何建华^{1,2}, 邓虎成^{1,2}, 何定睿^{1,2}, 徐 浩¹, 熊 亮³, 刘依豪¹

(1.成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059;

2.油气藏地质及开发工程全国重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059;

3. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 川南槽内-槽缘地区筇竹寺组多口井含气量和产量存在较大差异, 天然裂缝特征对页岩气差异富集控制明显, 但目前针对不同期次裂缝脉体胶结物对川南地区页岩储层流体活动及其差异富集过程指示研究仍较薄弱。本文综合利用岩心、薄片及裂缝面三维激光扫描等多尺度裂缝表征方法, 结合脉体包裹体与激光拉曼、碳氧同位素及方解石微区 U-Pb 定年测试技术, 明确了槽内-槽缘筇竹寺组天然裂缝形成期次, 构建了年代学约束下脉体古温压-流体成分协同演化模式, 揭示了不同时期裂缝脉体流体活动对页岩气差异富集的指示意义。结果表明: 川南筇竹寺组页岩储层主要发育三期天然裂缝, 加里东晚期(441~405 Ma)以顺层缝及高角度水力超压缝为主, 充填纤维状/隐晶质方解石, 含团块状沥青及含烃盐水包裹体(均一温度 90~120 °C); 海西晚期-印支期(261~238 Ma)发育高角度-垂直张剪复合缝, 充填微晶方解石-石英共生脉(含少量重晶石), 捕获大量气液两相及甲烷包裹体(均一温度 130~150 °C); 燕山晚期-喜山早期(86~54 Ma)以高角度张性缝或剪切缝为主, 块状中-粗晶方解石充填, 含大量高密度甲烷包裹体(均一温度 175~210 °C)。经历了四个古压力演化阶段, 即①加里东中晚期, 威远-资阳地区页岩成熟, 出现中等超压, 井研地区常压; ②海西晚期-印支期, 压力衰减, 但资阳地区维持缓慢增压; ③燕山早期, 生气高峰驱动资阳地区达到强超压(压力系数 2.1~2.8); ④燕山晚期-喜山期, 威远抬升泄压转常压, 井研地区东北部页岩气中等超压(压力系数 1.3~1.5), 资阳地区仍超压。裂缝启闭与超压演化时空耦合控制页岩气差异富集: 加里东晚期和印支期层理缝开启,

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(编号: 42402148); 新型油气勘探开发国家科技重大专项“深层超深层油气成藏机制与勘探开发关键技术”(2026ZD1401700-004-003)联合资助。

作者简介: 何建华(1990-), 男, 湖北荆州人, 博士, 副教授, 主要从事非常规油气储层天然裂缝成因机制与定量表征、地应力场精细描述研究。E-mail: hejianhuadizhi@163.com.

与同期高渗储层构成侧向运移通道,促进槽缘局部富集;海西晚期-印支期穿层张剪缝导致向上下气藏供烃和层内局部层段页岩气富集;燕山晚期-喜山期构造反转形成穿层剪切缝和张性裂缝,致使威远和铁山地区背斜核部泄压,页岩气逸散。该研究有助于阐明四川盆地多期构造改造下页岩气储层流体超压演化过程、厘定页岩气关键成藏富集时期,可为我国上扬子地区和相似地质背景地区页岩气富集、保存及其与地层温压演化关系的研究提供科学依据和参考借鉴。

关键词: 川南筇竹寺组; 页岩裂缝脉体; 压力演化; 方解石 U-Pb 定年; 页岩气差异富集

编号: NGGSF07015

四川盆地须家河组致密气成藏条件及勘探领域

厚刚福, 王俊鹏, 宋 兵, 徐小童, 伍松林, 邓 伟

中国石油杭州地质研究院, 浙江杭州, 310023

摘 要:四川盆地致密气资源丰富, 三叠系须家河组与侏罗系沙溪庙组是主要致密砂岩气产层。近年来, 侏罗系沙溪庙组勘探开发效果显著, 2020 年以来新增天然气地质储量近 $3\,000\times 10^8\text{ m}^3$, 成为四川盆地除海相碳酸盐岩常规气、海相页岩气之外的第 3 增长极^[1]。与沙溪庙组相比, 须家河组致密气资源量更大、成藏条件更优越, 预示着须家河组致密气勘探具有更为广阔的勘探开发前景。近年来, 在致密砂岩气理论的指导指导下, 四川盆地须家河组斜坡—坳陷过渡带取得致密气勘探新进展, 2022 年, 川中简阳区块 YQ1、TF101 等井相继获得高产工业气流; 2023 年底, 川西北地区 WT1 井获得重大突破, 完钻后获百万方高产工业气流, 展现了须家河组致密气良好的勘探前景。尽管须家河组致密砂岩气勘探实现重大突破, 但已发现气藏均有点无面, 含气储集体平面孤立、无法连片, 圈闭边界难以圈定, 制约了今后致密气储量提交和开发方案的编制。为探讨须家河组致密气成藏条件, 寻找新的勘探接替领域, 笔者通过四川盆地须家河组烃源岩特征、沉积体系与储层特征、源储组合特征详细分析, 系统梳理成藏要素时空配置关系与油气富集规律, 优选下一步勘探领域, 提出川中—川西前陆盆地下斜坡—凹陷区成藏条件优越, 为下一步须家河组致密气最有利勘探方向和领域。研究结果表明: ①四川盆地须家河组发育滨浅湖背景下(扇)辫状河三角洲沉积体系, 须二、须四和须六段(扇)辫状河三角洲前缘砂体规模较大, 为致密砂岩储层的发育创造了条件; 须一、须三和须五段以滨浅湖沉积为主, 为须家河组主力烃源岩层, 在垂向上与须二、须四和须六段储层构成 3 套源储组合; ②四川盆地须家河组致密气藏类型主要包括构造气藏、岩性气藏和构造—岩性复合气藏, 川西前陆盆地冲断带具有早期断裂输导、晚期裂缝—储层调整并聚集的成藏模式; 川中前陆盆地上斜坡~隆起区致密气具有“斑点状”近距离聚集模式; 川西前陆盆地下

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“超深层油气藏开发关键技术研究与应用”(编号:2023ZZ14-03)资助。

作者简介:厚刚福, 1982 年 1 月生, 高级工程师, 主要从事沉积学、层序地层学研究。

通讯地址:浙江省杭州市西溪路 920 号 (310023),。E-mail: hougf_hz@petrochina.com.cn。

斜坡~前渊坳陷区具有源储一体式规模气藏聚集模式；③川中地区前陆盆地下斜坡~凹陷区须二段、须四段三角洲前缘砂体发育，呈指状插入川西生烃凹陷，且处于天然气运移路径之上，源边致密气成藏条件有利，为下一步致密气勘探最现实的领域；川中-川西地区须三段和须五段局部发育规模较小的三角洲前缘水下分流河道砂体，在垂向上呈“泥包砂”结构夹于厚层烃源岩之中，成藏条件优越，为未来须家河组源内致密气勘探值得探索的新领域。

关键词：四川盆地，须家河组，致密气，致密砂岩储层，源储组合，勘探领域
参考文献

- [1] 张道伟，杨雨. 四川盆地陆相致密砂岩气勘探潜力与发展方向[J]. 天然气工业, 2022, 42(1): 1-11.
- [2] 徐伟，杨洪志，陈中华. 广安地区须六段气藏特征及开发策略 [J]. 天然气工业, 2007, 27 (6): 19-21.

编号: NNGSF07016

四川盆地震旦系-寒武系天然气成因、来源、成藏过程与有利勘探方向

黄士鹏¹, 姜 华¹, 赵振宇¹, 江青春¹, 管树巍¹, 周 刚², 宋金民³, 张天怡⁴

(1.中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2.中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川 成都, 610041; 3.成都理工大学, 四川 成都, 610059; 4. 中国石油大学(北京), 北京, 102249)

摘 要:通过分析 195 口井 324 样次天然气组分和碳氢同位素、地层水、沥青同位素等地球化学组成特征, 深入研究了四川盆地川中不同构造区块以及北斜坡地区震旦-寒武系天然气成因、硫酸盐热还原反应 (TSR) 程度、天然气来源的差异性, 并通过流体包裹体、单井埋藏史和 U-Pb 同位素定年数据综合确定了安岳气田的成藏年代和演化历史, 另外对盆地震旦系-寒武系下一步的有利勘探方向进行了综合预测, 取得认识如下: (1) 震旦系-寒武系天然气绝大部分为甲烷, 天然气为过成熟原油裂解干气; (2) 安岳气田灯影组和龙王庙组地层水均为 CaCl_2 型, 后者矿化度要高于前者, 整体上两套气藏具有很好的保存条件; (3) 灯影组和龙王庙组发生了以乙烷占主导的 TSR 反应, 甲烷几乎未参与, 受油气藏与水接触程度及硫源差异影响, 灯二段—灯四段—龙王庙组 TSR 反应的程度逐渐减弱; (4) 龙王庙组天然气来源于筇竹寺组烃源岩, 灯影组天然气则以筇竹寺组来源为主, 少量来源于灯三段烃源岩; (5) 德阳-安岳裂陷槽北部筇竹寺组烃源岩母质更富集 ^{12}C , 其生成的天然气碳同位素更轻, 导致川中古隆起北斜坡地区震旦系-寒武系乙烷碳同位素要轻于川中地区; (6) 震旦系-寒武系气藏主要经历早期古油藏 (414±44Ma)、主力古油藏 (220-200 Ma)、原油规模裂解 (150-115Ma) 以及调整定型 (70-13Ma) 四期成藏演化过程, 古油藏裂解大概持续了 40Ma; (7) 邻近生烃中心、规模储集体、断裂疏导以及稳定的构造、构造-岩性圈闭是四川盆地震旦-寒武系天然气成藏富集的 4 个最重要的控制因素。德阳-安岳裂陷东西两侧的灯影组台缘带是最重要的有利勘探区带, 川中-川东台内灯影组高能滩体叠加断裂发育地区以及川北-蜀南地区沧浪铺组和龙王庙组高能滩发育区, 也是重要的有利区带。上述研究认识对于四川盆地震旦系-寒武系深层超深层天然气

勘探具有较为重要的理论和指导意义。

关键词：震旦系；寒武系；灯影组；龙王庙组；气源；成藏过程；有利区带；四川盆地

编号: NGGSF07017

我国天然气进口现状、风险及对策建议

姜 航^{1,2}, 姜文利^{1,2}, 李登华^{1,2}, 黄书君^{1,2}, 胡洪瑾^{1,2}

(1.吉林省油页岩与共生能源矿产重点实验室, 吉林 长春 130061

2.自然资源部油气资源战略研究中心, 北京 100860)

摘 要:当前我国已成为全球最大的天然气进口国, 外采率达 40%, 天然气供应链的稳定性与韧性直接关系国家能源安全。持续优化进口来源多元化结构、化解结构性供给风险, 是现阶段我国能源安全工作的重要任务之一。我国已形成多气源、多通道的天然气进口格局, 但 80% 以上进口量集中在俄罗斯等五国, 气源集中度偏高带来的结构性供应风险突出; 海上 LNG 进口依赖霍尔木兹、马六甲等关键海峡, 航道扰动引发供给风险; 陆上管道气安全优势突出, 2025 年进口量 821 亿方, 占天然气进口总量的比重由 2021 年的 35% 提升至 47%, 进口结构持续向管道气倾斜, 是对冲海上 LNG 供给风险、筑牢国内天然气保供体系的关键支撑; 区域气源供给韧性分化明显, 近年来我国进口俄罗斯气源占比大幅提升、澳大利亚气源收缩、美国气源基本中断、中东气源短期承压、东南亚气源稳中有小幅波动。

俄罗斯依然有增加天然气出口的空间和潜力, 可依托现有管线增加供气, 新管道项目推进周期长、需过境协调, LNG 短期难以释放增量。土库曼斯坦也存在扩大出口潜力, 但规划新增产能尚未锁定出口国, 同时面临气田开发难度大、新管道项目需过境协调等问题。中东天然气产能修复需 3~5 年, 且地缘风险持续存在。加拿大 LNG 战略价值突出, 但存在增产周期长、现货供给不稳定等限制。非洲气源丰富, 出口我国 LNG 运输成本高是主要制约。

建议:一是近期重点深化中俄、中亚陆上管道气合作, 夯实中俄东线合作、加快中俄远东线项目落地, 加快推进中亚 D 线建设和土库曼斯坦复兴气田开发, 并通过长协锁定新增气源; 二是远期将加拿大、莫桑比克、阿尔及利亚等 LNG 气源作为战略储备, 积极拓展合作。

关键词: 天然气进口; 多元化格局; 潜在风险; 对策建议

编号: NNGSF07018

页岩差异富集的动态演化过程研究-以川东南东溪地区龙马溪组页岩为例

李 斌^{1,2}, 张 昆¹, 彭 军^{1,2}, 刘珠江³, 魏祥峰³, 郝景宇³

1.西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都 610500; 2.西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500; 3.中石化勘探分公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 页岩气的富集成藏是“生—运—保”多要素在时空上动态耦合的结果。研究以川东南东溪地区关键钻井为研究对象, 综合运用盆地模拟、流体包裹体分析及高压甲烷等温吸附实验等技术手段, 系统重建了五峰组—龙马溪组页岩的埋藏史—热演化史—生烃史—压力史—含气性演化史的动态耦合过程。研究表明: 东溪地区五峰组—龙马溪组页岩热演化具有“早期缓慢生烃—中晚期快速生烃—构造抬升停滞”的三阶段特征, 生烃强度呈现断背斜核部>断背斜翼部>向斜翼部的有序递变规律。东溪地区五峰-龙马溪组现今压力系数在 80~101MPa 之间, 压力系数为 1.5~1.8, 超压是油气微运移的动力。含气量变化趋势从海西晚期开始增加, 印支期达到峰值, 受构造抬升影响燕山-喜山期含气量快速降低, 自印支期开始逐渐向东西翼分异, 现今含气量西翼>东翼>核部宽缓。其中游离烃含量在印支期累计达到峰值, 印支期后开始下降, 现今游离烃由核部向两翼逐渐递增, 在断层附近达到最高, 表现为西翼>东翼>核部。页岩气差异富集受控于“生烃强度—微运移—断裂逸散”三元耦合机制, 气藏呈现“运聚动平衡”差异富集模式(图 1)。断背斜核部具备埋深大、压力系数高、倾角平缓、微运移弱、断裂逸散弱等有利条件, 为最有利勘探目标区。

关键词: 川东南东溪; 成藏动力学模拟; 龙马溪组页岩气; 微运移; 差异富集

作者简介: 李斌, 男, 教授, 博导, 西南石油大学地科院。主要从事油气成藏动力学和非常规油气资源评价综合研究。地址: 成都市新都区新都大道 8 号, 西南石油大学, 邮编编码: 610500. E-mail: lbin@swpu.edu.cn

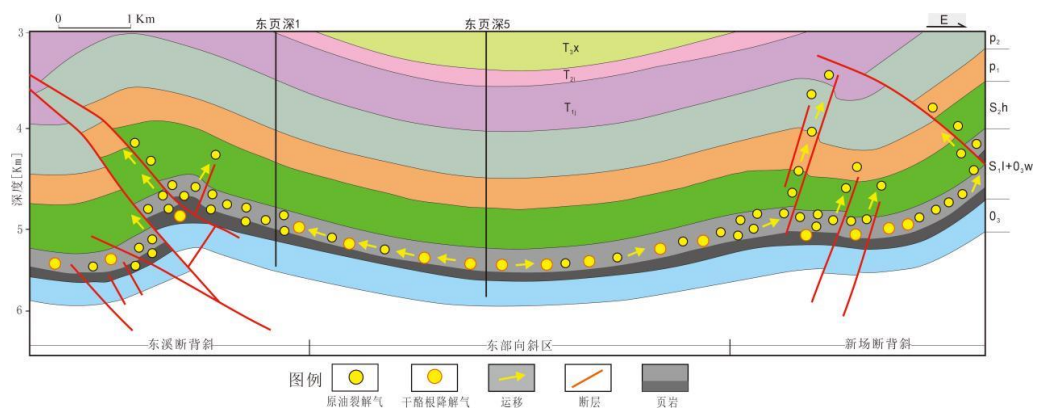


图 1 川东南东溪地区龙马溪组页岩气差异富集模式

编号: NGGSF07019

四川盆地二叠系孤峰段黑色岩系储层特征及勘探潜力

李梦莹, 李文正, 王鹏万, 王俞策, 曹全斌, 郝毅

中国石油杭州地质研究院 浙江 杭州 310023

摘 要: 在全球能源转型与我国“双碳”战略驱动下, 四川盆地二叠系孤峰段已成为继志留系龙马溪组之后页岩气勘探的新层系。针对孤峰段地层归属争议大、储层成因机理不清等关键问题, 本文基于川东北地区及周缘露头和钻井资料, 采用“地层厘定→特征描述→成因分析→综合评价”的研究思路, 开展了系统研究。结果表明: ①孤峰段应厘定为中二叠统茅口组顶部的一套特殊岩性段, 与茅口组三段下亚段为同期异相沉积, 其底界和顶界分别受控于东吴运动Ⅱ幕及 G-L 界线事件形成的区域性不整合面。②储层具有“五高”特征(高 TOC、高热成熟度、高脆性、高孔隙度、高含气量), 硅质页岩类因发育丰富的有机质孔, 储集性能最优。③储层发育受矿物组合协同控制, 生物成因石英保障微-介孔系统, 碳酸盐矿物通过溶蚀构建宏孔系统, 低粘土含量有利于孔隙保存。④建立了基于岩性组合的储层分类标准, 识别出页岩型和页灰互层型两类最优岩性组合。⑤综合评价预测四川盆地孤峰段页岩气地质资源量约 $12 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 并在川北(开县-奉节)和川北(巴中-大竹)优选出总面积约 $1.97 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的 I 类储层发育带, 其中开县-奉节区块(资源量约 $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$)埋深适中、构造简单, 是当前最现实的勘探突破区。本研究厘清了孤峰段的地层格架与成储机制, 为四川盆地页岩气新区带勘探提供了直接的地质依据。

关键词: 四川盆地; 页岩气; 孤峰段; 硅质岩; 储层特征; 有利区带

参考文献:

张琴, 邱振, 梁峰, 等. 川东北地区中—上二叠统海相页岩储层特征及其地质意义: 以孤峰组—大隆组页岩为例[J]. 海相油气地质, 2025, 30(4): 370-384.

ZHANG Qin, QIU Zhen, LIANG Feng, et al. Characteristics and geological significance of marine shale reservoirs of the Middle-Upper Permian in northeastern Sichuan Basin: a case study of the Gufeng-Dalong Formation shales[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2025, 30(4): 370-384.

刘昇, 范存辉, 张本健, 等. 四川盆地东部中二叠统茅口组孤峰段展布特征及其

作者简介:李梦莹 E-mail: limy0301@163.com

- 油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(4): 993-1008.
- LIU Sheng, FAN Cunhui, ZHANG Benjian, et al. Distribution characteristics of Gufeng Member of the Middle Permian Maokou Formation, eastern Sichuan Basin and its petrogeological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(4): 993-1008.
- 文龙, 罗冰, 杨文杰, 等. 四川盆地中二叠统茅口组构造-岩相古地理特征及有利储集区带分布[J]. 古地理学报, 2025, 27(4): 1044-1063.
- WEN Long, LUO Bing, YANG Wenjie, et al. Tectonic-lithofacies palaeogeographic characteristics and distribution of favorable reservoir zones of the Middle Permian Maokou Formation[J]. Journal of Palaeogeography, 2025, 27(4): 1044-1063.
- 邱振, 窦立荣, 吴建发, 等. 川北-鄂西地区中二叠统层序岩相古地理演化及页岩气勘探潜力[J]. 地球科学, 2024, 49(2): 712-748.
- QIU Zhen, DOU Lirong, WU Jianfa, et al. Lithofacies palaeogeographic evolution of the Middle Permian sequence stratigraphy and its implications for shale gas exploration in the northern Sichuan and western Hubei provinces[J]. Earth Science, 2024, 49(2): 712-748.
- 叶良辅, 李捷. 安徽宣城泾县煤田地质[J]. 地质汇报, 1924(6): 25-50.
- YE Liangfu, LI Jie. Coal geology of Xuancheng and Jingxian in Anhui Province[J]. Geological Bulletin, 1924(6): 25-50.
- 付小东, 陈娅娜, 罗冰, 等. 四川盆地北部中二叠统茅口组孤峰段优质烃源岩特征及其油气地质意义[J]. 地质学报, 2021, 95(6): 1903-1920.
- FU Xiaodong, CHEN Yana, LUO Bing, et al. Characteristics and petroleum geological significance of the high-quality source rocks in the Gufeng Member of the Middle Permian Maokou Formation in the northern Sichuan basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(6): 1903-1920.
- 张本健, 郝毅, 周刚, 等. 四川盆地海相碳酸盐岩规模优质储层分布与勘探方向[J]. 海相油气地质, 2025, 30(5): 481-499.
- ZHANG Benjian, HAO Yi, ZHOU Gang, et al. Distribution of large-scale high-quality carbonate reservoirs and exploration directions in the Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2025, 30(5): 481-499.
- 倪超, 张本健, 褚春波, 等. 四川盆地栖霞组—茅口组沉积储层特征及勘探领域[J]. 海相油气地质, 2024, 29(3): 303-315.
- NI Chao, ZHANG Benjian, CHU Chunbo, et al. Sedimentary and reservoir characteristics and exploration field of Qixia Formation-Maokou Formation in the Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2024, 29(3): 303-315.

编号: NGGSF07020

川中震旦系-二叠系天然气特征分析及对立体成藏演化的启示

李亿殊^{1,2}, 罗晓容^{1,2}

1.西北大学地质学系, 陕西 西安, 710069

2.大陆演化与早期生命全国重点实验室, 陕西 西安, 710069

摘要: 伴随能源需求的日益增加和油气勘探开发工艺的发展,“深地”、“深海”以及“非常规油气”已成为当前油气勘探的热点领域和主要上产增长点。川中地区安岳气田是我国典型的深层-超深层古老碳酸盐岩油气勘探开发示范区,近年来在其北侧蓬莱气区的震旦系灯影组-二叠系茅口组中皆取得重大突破,展现出多层系立体成藏特征。基于对整个川中地区震旦系-二叠系气藏天然气、储层沥青和烃源岩的综合分析,厘定了气藏气源关系,探讨了烃源岩性质、油藏热裂解过程以及气藏晚期调整改造等对气藏组分-同位素空间分布特征的影响。

天然气 C-H-Ar 同位素、储层沥青 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素及微量元素分析显示寒武系筇竹寺组烃源岩对震旦系-二叠系皆存在重要的供烃贡献。以寒武系页岩为分隔,下部震旦系气藏除筇竹寺组贡献外,还存在灯三段和陡山沱组烃源岩的混合贡献,特别是稳定且广泛分布的灯三段烃源岩。上部二叠系气藏除筇竹寺组贡献外,还存在龙马溪组和二叠系烃源岩的贡献。寒武系页岩母源性质的空间差异,可造成紧邻裂陷槽内部的气藏和储层沥青 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对负偏。油藏热裂解的封闭体系影响 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 储层沥青的分馏关系,震旦系油藏裂解期间的油藏脱沥青以及早期湿气产物逸散是 $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}$ 储层沥青的重要原因。喜山期构造抬升背景下,气藏沿不整合面和断裂-裂缝发生局部调整,气藏调整指向区的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值相对变轻,进一步加剧震旦系-二叠系天然气 $\delta^{13}\text{C}$ 特征的复杂性。

关键词: 天然气特征; 气源分析; 立体成藏; 川中地区; 深层-超深层

作者简介: 李亿殊,男,博士后,主要从事油气地球化学与深层生烃-运聚机理研究, Email: liyishu8013@nwu.edu.cn

编号: NGGSF07021

松辽盆地龙深气田营二段致密气藏储层及 甜点区评价——以龙深3区块为例

李忠诚, 韩昊天, 宋 鹏, 杨旭东, 周俊廷, 宋 朔

中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司, 吉林 松原, 138000

摘 要: 龙深3区块为龙深气田的主力建产区, 由于前期该目的层勘探薄弱, 其沉积相及储层特征等相关方面的研究不足, 制约了区域油气开发, 基于此问题, 本次研究通过钻井岩心、扫描电镜、孔渗实验、高压压汞等实验, 详细研究了岩石物理学特征、分析了储集空间类型包括次生孔缝为主, 其中次生溶蚀孔最发育, 孔缝组合: 分孔隙型、裂缝-孔隙型、孔隙-裂缝型及裂缝型4大类结合实验结果将储层类型分为I类、II类及III类, 为研究区有利区刻画提供理论基础。

关键词: 致密气; 营二段; 龙深气田; 松辽盆地

编号: NGGSF07022

川中地区上二叠统长兴组礁滩体储层发育 机理与天然气成藏条件

梁新玉, 刘博文, 蒋志远, 刘建军, 周旻昊, 钱杨娇娇, 梁宇晨, 刘宗伟

中国石油西南油气田公司川中油气矿, 四川 遂宁 629000

摘 要: 川中地区上二叠统长兴组是四川盆地近年天然气勘探取得重要突破的新层系, 但其礁滩体储集性能的发育机制与成藏条件尚缺乏系统认识。利用铸体薄片、扫描电镜、钻井岩心及地震资料, 从储集岩类型、储集空间组合、物性与孔喉结构、平面展布四个层面刻画了储层面貌, 进而探讨了沉积相带与成岩作用对储集性能的控制机制, 并阐明了天然气成藏的地质条件。研究表明: ①长兴组储集岩包括亮晶生屑灰岩、格架灰岩、残余格架云岩、残余生屑云岩和细—粉晶云岩五类, 储集空间以粒内容孔和铸模孔为主导, 占比达 84.91%, 喉道呈管状、片状, 孔喉结构总体差—中等, 储层属中低孔、中低渗型; ②储集体沿蓬溪—武胜台洼两侧及其内部微地貌高地展布, 厚度 0~103.4 m, 北东厚、南西薄; ③储集性能受沉积相带与成岩改造双重控制, 礁滩相奠定物质基础, 渗透回流白云石化与多期溶蚀为主导性建设作用; ④长兴组具有“下生上储”的有利源储配置与多套封盖条件, 成藏条件优越。研究结果为该区下一步勘探部署提供了地质依据。

关键词: 长兴组; 礁滩体; 储集性能; 成岩作用; 成藏条件; 川中地区

作者简介: 梁新玉(1990-), 女, 本科, 工程师, 主要从事油气地质综合研究工作。地址:(629000)四川省遂宁市船山区香林南路 178 号。Email: lxy125hty@petrochina.com.cn。

编号: NGGSF07023

能源变局下天然气资源形势研判及助力产 气强国建设路径思考

刘 飞

陕西延长石油（集团）有限责任公司天然气研究院分公司，陕西 西安 710075

摘 要：全球地缘冲突持续扰动能源市场，天然气供应链由效率优先转向安全优先。基于 IMF、IEA、EIA、OPEC 等机构公开数据，系统分析国内外天然气资源发展态势：全球天然气供需区域分化明显，欧亚气价震荡走高，北美供应保持宽松，上游勘探投资重心转向能源基础设施，全球供气格局加速重塑。国内天然气产量稳步提升，页岩气、煤层气、致密气等非常规天然气在新区、新层系勘探取得多项突破，配套政策持续完善，有力支撑天然气增储上产；但我国天然气保供仍面临地缘风险、进口通道不确定性等挑战。预判未来全球天然气市场将持续受地缘博弈、经济需求、产能释放等因素叠加影响。我国应立足国内加大天然气勘探开发力度，持续推进天然气地质理论与开发技术创新，挖掘非常规天然气资源潜力，推进进口来源与储运通道多元化，完善储气调峰体系，夯实资源保障基础，为产气强国建设提供有力支撑。

关键词：

天然气；非常规天然气；供需格局；增储上产；产气强国；能源安全

作者简介：刘飞（1985-）女，硕士研究生，高级工程师，2011 年 7 月毕业于西安石油大学地球探测与信息技术专业，主要从事天然气方案评估相关研究。地址：（715700）陕西省西安市雁塔区唐延路 61 号， E-mail: 270432176@qq.com

编号: NGGSF07024

海陆过渡相沉积演化对夹研发育、煤质分异及深层煤层气含气性的控制机理——以鄂尔多斯盆地东部本溪组 8[#]煤层为例

刘桂珍^{1,2}, 陈 妍^{1,2}, 刘彦雄^{1,2}

1.西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

2.西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065;

摘 要:鄂尔多斯盆地本溪组 8[#]煤层是为深层煤层气主力勘探层位, 资源潜力大。但煤层夹研发育、煤质非均质性强制约煤层气高效开发, 开展煤储层沉积机理研究对煤层气勘探具有重要现实意义。为明确海陆过渡相沉积演化对煤层结构、煤质特征及煤层气富集的系统性控制机理, 本文以鄂尔多斯盆地东部本溪组 8[#]煤层为研究对象, 综合利用岩心、测井资料、分析化验数据, 系统剖析研究区煤层夹研成因类型、空间展布规律、煤质分异特征, 揭示沉积演化、夹研发育、煤质差异与深层煤层气含气性的耦合关系。

研究表明: 研究区 8[#]煤层形成于潮坪-潟湖泥炭坪沉积环境, 整体上形成于三级层序高位域晚期。研究区垂向上 8[#]煤层发育 2~3 套夹研, 其主要类型为泥质夹研。其发育规模、层数及空间分布受控于高频海平面升降旋回与古地貌控制的可容纳空间的变化。海平面上升, 可容纳空间增大, 泥炭堆积为退积, 还原环境, 逐渐形成淹没不整合, 泥质夹研发育, 但形成低灰分、高镜质组含量的优质煤层, 煤层孔裂隙发育、吸附能力强, 含气性高; 海平面下降, 可容纳空间逐渐减小, 泥炭堆积稳定前积, 加积, 逐步向暴露不整合演变, 沼泽氧化环境加剧, 造成煤层灰分、惰质组含量显著升高, 煤质整体变差, 储层孔隙连通性与含气性降低。夹研的分层阻隔作用进一步加剧了煤储层垂向非均质性, 破坏了煤储层孔裂隙系统的连续性, 抑制了煤层气的运移与富集, 使得少夹研、低灰高镜质组的沉积优势区段成为煤层气富集甜点区。研究揭示控制夹研发育、煤质分异及煤层气含气性的内在机制, 建立了 8[#]煤层沉积演化、煤岩结构、煤质特征、储层含气性的协同耦合模式。该研究可为鄂尔多斯盆地东部本溪组深层煤层气资源评价、有利勘探区带优选及高效开发提供坚实的理论支撑。

关键词 沉积演化; 夹研发育; 煤质分异; 深层煤层气; 鄂尔多斯盆地东部

作者简介: 刘桂珍 (1976-), 女, 甘肃天水人, 博士, 副教授, 研究方向: 非常规油气地质
E-mail: liuguizhen509@xsyu.edu.cn.

编号: NNGSF07025

川西晚三叠世陆缘海形成演化与四川盆地 须家河组油气勘探

刘树根^{1,2}, 孙 玮¹, 邓 宾¹, 宋金民¹, 冉 波¹, 张闻林³, 罗 平⁴, 吕正祥¹, 叶玥豪¹, 杨荣军⁵, 王天瑞¹, 徐宏远¹, 郭 冉⁶, 刘重江¹

- 1.成都理工大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 四川 成都 610059;
- 2.西华大学, 四川 成都 610039;
- 3.中国石油西南油气田公司, 四川 成都 610051;
- 4.中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
- 5.成都北方石油勘探开发技术有限公司, 四川 成都 610213;
- 6.中国石油川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司, 四川 成都 610213

摘 要: 本文通过野外露头 and 钻井岩心资料, 基于构造地质学与沉积学、沉积盆地和邻近造山带的协同研究, 阐述了川西晚三叠世陆缘海的形成演化, 并对四川盆地海相上三叠统的油气勘探前景进行了探讨。研究结果表明:

- (1) 晚三叠世四川盆地西部不是前陆盆地(湖盆), 而是陆缘海;
- (2) 上三叠统须家河组须一段沉积时, 西秦岭造山带自北东向南西冲断隆升, 在其前缘形成北西-南东向的前陆盆地, 四川盆地西缘茂汶断裂(扬子板块边界)发生被动左旋走滑和隆升, 在现今四川盆地西部形成陆缘海(海湾)(川西陆缘海), 此时松潘-甘孜地区多为深海(扇)沉积, 川西陆缘海为浅海沉积;
- (3) 上三叠统须家河组须二段至须五段沉积时, 西秦岭造山带和松潘-甘孜造山带自北东向南西持续冲断隆升, 其前缘形成北西-南东向的前陆盆地, 川西陆缘海西北缘沿茂汶-汶川断裂(扬子板块边界)被动左旋走滑和隆升, 川西陆缘海为浅海沉积, 发育潮汐沉积构造, 并不断向东扩大沉积范围。在上三叠统须家河组须六段仍可见潮汐沉积构造。晚三叠世末期, 古特提斯洋与四川盆地通道关闭, 川西陆缘海消亡;
- (4) 川西陆缘海上三叠统须家河组及其须一段、须二段、须四段沉降中心(厚度最大地区)均在都江堰-绵阳地区, 未发生向东的明显迁移, 龙门山由北西向南东的冲断作用较弱;

(5) 受川西陆缘海控制, 上三叠统须家河组发育多套烃源岩和储集层, 保存条件佳, 具备形成大中型油气田的条件, 其油气勘探前景广阔。建议基于陆缘海和海相碎屑岩沉积观点, 重新梳理四川盆地上三叠统须家河组的油气地质条件和油气分布规律, 调整油气勘探思路, 实现新的油气勘探发现。

关键词:四川盆地; 晚三叠世; 陆缘海; 须家河组; 油气勘探

编号: NGGSF07026

开放体系下烃源岩热解丙烷位碳同位素分析技术

卢 丽, 马媛媛, 李吉鹏

中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏
无锡 214126

摘 要: 为了研究开放体系下不同类型母质热演化生气进程和生气模式与母质的生气机理, 本文研究建立了开放体系下烃源岩热解产物丙烷离线富集-纯化方法流程及丙烷位碳同位素测定。(1) 自主设计实验装置流程, 建立了开放体系下烃源岩热解生成丙烷的无分馏收集实验流程方法。样品在开放体系下热解, 本实验研究使用自研制的冷冻富集管, 通过富集管填料(空管、石英棉、脱脂棉)、载气流速(13 ml/min、25 ml/min、50 ml/min、75 ml/min)、冷冻富集时间(5 min、10 min、20 min、30 min)、是否通过碱液、后排空真空度实验条件(40 Pa、60 Pa、80 Pa、100 Pa)、裂解温度等条件优化实验, 优选空管、载气流速 50~75 mL/min、冷冻时间 10 min、真空度 60 Pa, 建立了热解装置-产物经碱液除杂-液氮冷冻富集-真空收集-样品待测的丙烷富集纯化方法流程, 实现丙烷富集碳同位素偏差在 0.4‰ 以内, 解决了开放体系烃源岩热解产物中丙烷的富集纯化问题。开放热解装置为 OTF-1200X-S 小型管式炉, 控温精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 内置石英管口径 $\Phi 25 \times 600\text{mm}$ 。热解产出的气体在氦气载动下进入饱和 KOH 溶液, 去除产物中的二氧化碳, 有效纯化了丙烷产物, 解决了离线收集丙烷浓度低的难题。样品管放置在液氮冷阱中收集气体产物, 在 60Pa 真空条件下纯化待测。通过对比分析丙烷标气与空白试验流程下的碳同位素值, 偏差在 0.4‰ 以内, 验证了该分析流程的可行性。(2) 开放体系模拟产物中含丙烯, 优化丙烷位碳同位素检测方法, 成功去除丙烯干扰, 建立了开放体系烃源岩裂解产物丙烷位碳同位素测试方法流程。开放体系热模拟产物中含有甲烷、二氧化碳、乙烯、乙烷、丙烯和丙烷等气体产物。产物中丙烯与丙烷性质相近, 造成出峰时间比较接近。进一步优化了四通阀放空时间, 有效去除了第一根色谱柱流出物中丙烯等化合物影响, 实现了产物组分经第一根色谱柱分离、四通阀放空获取纯丙烷、在线裂解、产物色谱定性定量和同位素比值测定, 进而计算出丙烷位碳同位素值。所建立的方法不仅可以用于开放体系下烃源

作者简介: 卢丽(1978.07-), 女, 高级工程师, 研究方向: 油气地球化学分析测试与研究, Email: luli.syky@sinopec.com。

岩热解丙烷位碳同位素分析,还可用于高演化天然气中丙烷同位素以及丙烷位碳同位素的测定。

关键词: 开放体系下热解; 丙烷富集; 丙烷位碳同位素

参考文献:

- [1] 帅燕华,彭平安,陶小晚,等.丙烷分子内碳同位素示踪作用[J].科学通报,2023,68(36):4995-5008.
- [2] Li Y, Zhang L, Xiong Y, et al. Determination of position-specific carbon isotope ratios of propane from natural gas. *Org Geochem*, 2018, 119: 11 - 21
- [3]Zhang L, Li Y, Jiang W, et al. Position-specific carbon isotopic composition of thermogenic propane: Insights from pyrolysis experiments. *OrgGeochem*, 2022, 166: 104379
- [4]Shuai Y, Xiong Y Q, Li J, et al. Unusual ^{13}C depletion in the central carbon of propane in the gases of Longmaxi shale in the Sichuan Basin. *OrgGeochem*, 2023, 184: 104658
- [5] Cramer B,Faber E,Gerling P,等.天然气稳定碳同位素反应动力学研究——关于干燥、开放热解实验中的思考[J].天然气地球科学,2002,(Z3):8-18.
- [6]马媛媛,陶成,把立强,等.在线裂解色谱-同位素比值质谱测定天然气丙烷位碳同位素及其初步应用[J].石油实验地质,2022,44(02):350-356+364.

编号: NGGSF07027

柴北缘侏罗系天然气碳同位素异常特征与成因新解

鲁雪松^{1,2}, 张凤奇³, 姜 华^{1,2}, 桂丽黎^{1,2}, 姜 林^{1,2}, 帅燕华¹,
国建英¹

1. 中国石油勘探开发研究院地质实验研究所 北京 100083;

2. 中国石油天然气股份有限公司盆地构造与油气成藏重点实验室 北京 100083;

3. 西安石油大学地球科学与工程学院 陕西 西安 710065

摘 要: 柴北缘侏罗系天然气是典型的煤成气, 但天然气碳同位素分布呈现显著异常特征, 主要表现为两类矛盾现象: 其一, 部分天然气甲烷碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}_1$) 异常偏重 (计算成熟度超 3.0%, 最大达 6.0%), 与区域烃源岩成熟度 (R_o 普遍 $<1.3\%$) 严重不符; 其二, 部分气样 $\delta^{13}\text{C}_1$ 异常偏轻 ($<-44\%$), 根据传统图版判识为油型气, 但侏罗系烃源岩以腐植型干酪根为主, 生油潜力受限。前人研究多从断裂沟通晚期高成熟气或古隆起区差异聚集角度解释此类现象^[1], 但存在三方面矛盾: ①深层未见晚期高成熟气聚集的地质证据; ②浅层超 4.0% 成熟度气样缺乏对应的高过成熟烃源岩支撑; ③异常轻碳同位素与腐植型源岩生烃特征不符。

本文基于天然气扩散动力学机制和天然气扩散实验结果^[2], 构建了扩散-成熟度耦合的碳同位素演化模型。研究发现, 当扩散损失率 $>50\%$ 时, 残留气藏甲烷碳同位素均显著变重, 且 $\delta^{13}\text{C}_1$ 变重幅度 (2.7%~3.5%) 远超 $\delta^{13}\text{C}_2$ (1.2%~1.5%), 导致碳同位素倒置现象。以柴北缘侏罗系烃源岩热模拟数据建立的 R_o -碳同位素关系为基准, 通过扩散影响天然气碳同位素的定量模拟揭示: 初始 $R_o=1.0\%$ 的气藏在 75% 扩散损失后, 其计算 R_o 将虚高至 1.49%, 形成“成熟度高估陷阱”。结合坪西-坪东-昆特依凹陷实测数据, 发现 $\delta^{13}\text{C}_1<-44\%$ 的异常轻值多分布于基岩层系, 与煤系地层解析气特征吻合, 反映晚期抬升导致的扩散散失效应。

基于上述机制, 本文创新性地构建了“扩散修正-成熟度判识图版”(图 1)。该图版通过引入扩散损失率参数, 将传统碳同位素-成熟度关系拓展为三维空间, 有效区分扩散改造气与真实高成熟气。应用表明: 牛东地区 $\delta^{13}\text{C}_1=-36.5\%$ (牛

14 井)、东坪地区 $\delta^{13}\text{C}_1=-38.7\text{‰}$ (东坪 173 井) 等异常值, 在修正扩散效应后其真实 R_o 可降至 $0.8\%\sim 1.0\%$, 与区域烃源岩热模拟结果 ($R_o=0.7\%\sim 1.3\%$) 高度吻合。研究证实, 柴北缘天然气碳同位素异常主要源于扩散动力学过程, 而非源岩真实成熟度差异, 为深层-超深层天然气成因判识提供了新思路。

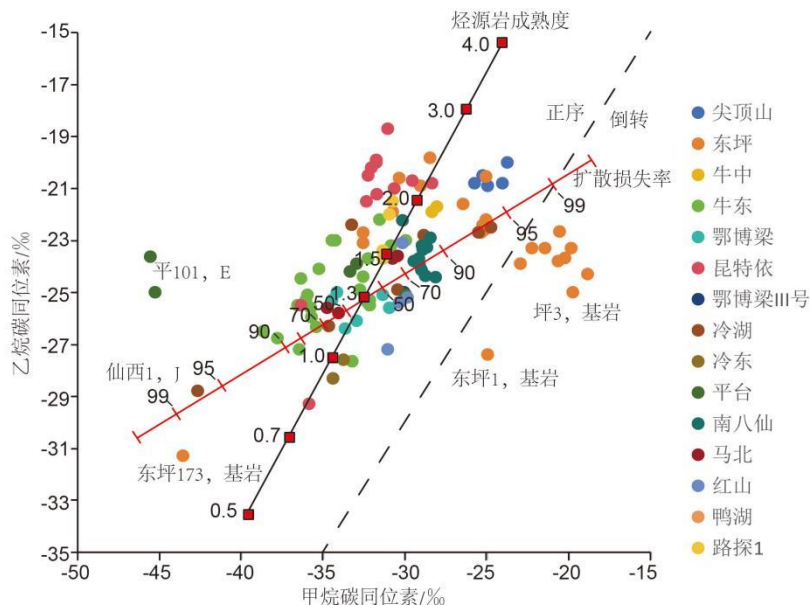


图 1 柴北缘侏罗系天然气甲乙烷碳同位素交汇图及成因判识图版

参考文献

- [1]田继先,李剑,曾旭,等.柴北缘深层天然气成藏条件及有利勘探方向[J].石油与天然气地质,2019,40(5):1095-1105.
- [2]Zhang, T., & Krooss, B. M.. Molecular diffusion of methane in water-saturated sedimentary rocks: Experimental determination of carbon isotope fractionation effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001,65(10), 1687-1702.

编号: NNGSF07028

鄂尔多斯盆地西南部彬长矿区煤系气成因 及成藏

罗芬红

陕西延长石油(集团)有限责任公司天然气研究院 陕西 西安 710075

摘 要: 鄂尔多斯盆地西南部彬长地区中生界延安组延9煤及其顶底板砂岩均赋存天然气,但其气源尚未明确,成藏模式不清晰,影响煤矿安全开采并限制了进一步勘探开发。本次研究通过开展烃源岩与天然气地球化学特征分析,明确了天然气的成因与成藏模式。依据天然气组分及碳氢同位素特征分析结果,延安组延9煤底板砂岩赋存的天然气,主要为长7段暗色泥岩(油页岩)生成的油型伴生气,延9煤层气与顶板砂岩气则为煤型气与油型气的混合气。延安组煤层气,主要为晚白垩世末期以来,携带甲烷菌的地表水沿断层下渗,经CO₂还原作用形成的次生生物气,西北部成熟度较高的区域有热成因气。延安组低阶煤层的含气量受煤层厚度、埋深、水动力条件、储层物性、顶底板岩性及构造特征等多重因素影响,其有利埋深区间为300~750 m,向斜构造部位的煤层厚度与含气量均相对较高。在对典型气藏井开展解剖、对富集主控因素开展分析的基础上,本次研究提出向斜-水动力封堵、背斜-水动力驱动、单斜-断层封闭三类煤层气成藏模式;顶底板砂岩气主要为构造-岩性组合成藏,受控于砂岩展布和构造高部位耦合。该区域中生界气源与储集层类型多样,裂隙具备垂向疏导能力,煤型气与油型气、生物气与热成因气共存,整体形成多源天然气复合成藏格局。

关键词: 彬长地区; 中生界; 延安组; 煤系气; 天然气成藏

作者简介: 罗芬红,女,1994年生,工程师,主要从事天然气成藏研究。通讯地址:陕西省西安市雁塔区唐延路61号延长石油科研中心,邮编:710075

编号: NNGSF07029

元素硫体系下硫代单金刚烷的形成与演化: 来自 1,3-二甲基单金刚烷黄金管热模拟实验 证据

马安来, 张亚雄

中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102260

摘 要: 摘要: 硫代金刚烷是碳酸盐岩油气藏硫酸盐热化学还原作用(TSR)的分子标志物, 然而对其前身物、生成机制、生成—富集—破坏阶段认识不清。本研究在前期模型化合物 TSR 模拟实验基础上, 采用黄金管热模拟方法在低温阶段对 1,3-二甲基单金刚烷(1,3-DMA)进行模拟实验, 并对模拟气相产物和液相产物进行了分析。研究表明, 1,3-DMA 在 Easy%Ro 为 0.43%即可生成 2.34 mmol/g 的 H₂S。模拟液相产物中可以检出 4 类具有单金刚烷结构的非烃化合物, 按生成的最高浓度排列顺序依次为单金刚烷酮类>单金刚烷硫醇类>单金刚烷醇类>硫代单金刚烷类化合物。结合 1,3-DMA 在 360°C恒温不同时长元素硫体系下模拟实验结果, 单金刚烷硫醇的生成高峰为 0.53~0.64% Easy%Ro, 单金刚烷酮类和单金刚烷醇类的生成高峰相同, 对应于 Easy%Ro 为 0.74%, 硫代单金刚烷类化合物的生成高峰为 0.84% Easy%Ro (图 1)。元素硫体系下硫代单金刚烷的生成富集阶段早于 MgSO₄、CaSO₄ 体系。根据四类具单金刚烷结构非烃的含量及稳定性, 结合硫代单金刚烷实验室合成途径, 提出单金刚烷酮可能是硫代单金刚烷生成的中间产物, 硫代单金刚烷是通过硫自由基机制形成的 (图 2)。研究表明除 TSR 作用外, 沉积盆地中若同时具有金刚烷和元素硫条件在地质演化过程中同样可生成硫代金刚烷, 该研究丰富了硫代金刚烷的生成演化机制, 对硫酸盐热化学作用评价具有重要意义。

关键词: 硫代单金刚烷; 单金刚烷硫醇; 单金刚烷酮; 单金刚烷醇; 元素硫体系; 演化

作者简介: 马安来(1969-), 男, 博士, 研究员, 从事油气地球化学和成藏机理研究。
E-mail: maal.syky@sinopec.com

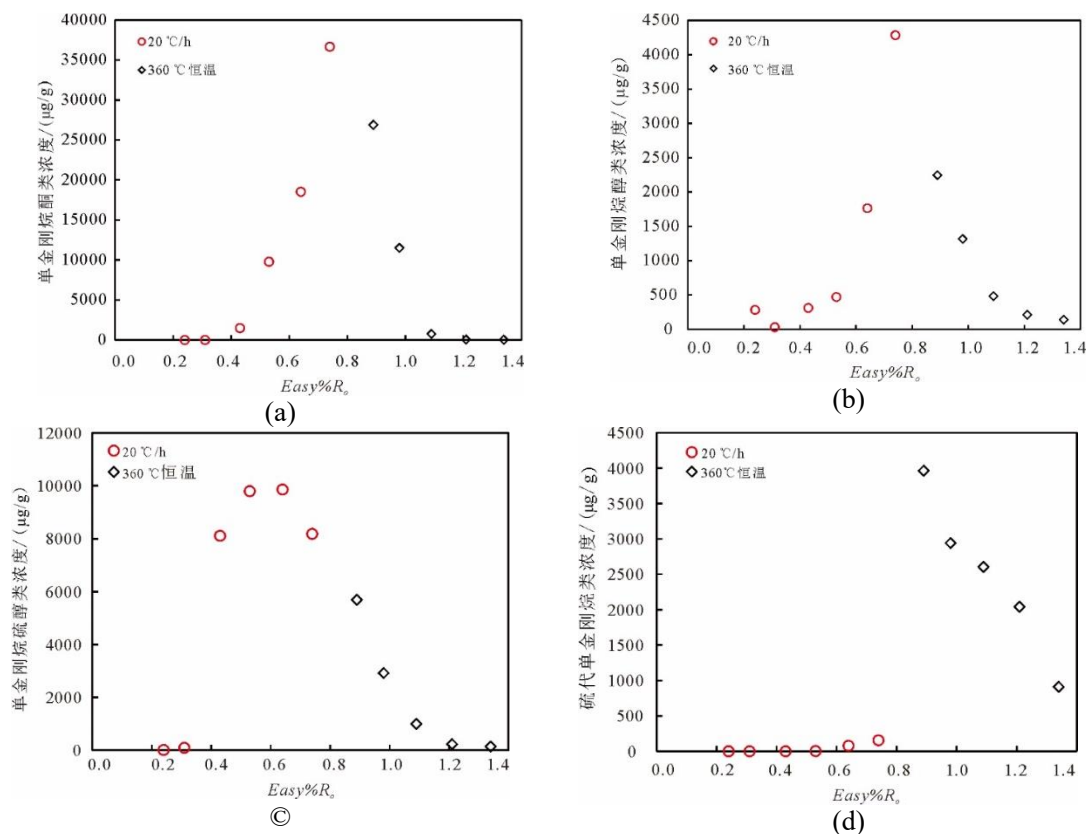


图 1 1,3-DMA 在元素硫体系生成的单金刚烷酮(a)、单金刚烷醇(b)、单金刚烷硫醇(c)和硫代金刚烷类化合物(d)与 Easy%Ro 的关系

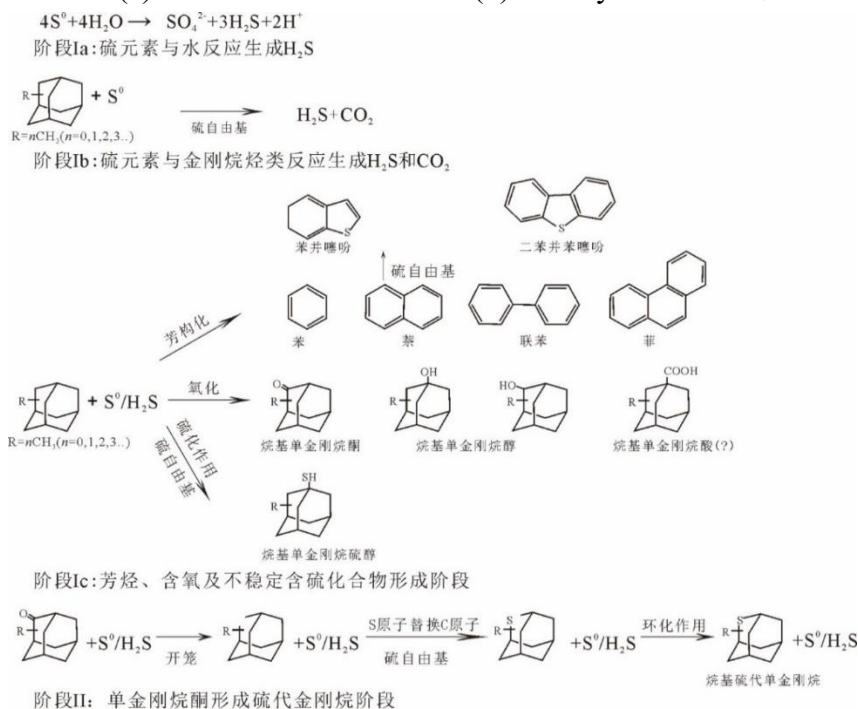


图 2 烷基单金刚烷在元素硫体系下反应类型及硫代单金刚烷形成机理

编号: NNGSF07030

断裂影响下莺歌海盆地超压分布特征与形成机制

马 凌, 黄 雷

西北大学地质学系/大陆演化与早期生命全国重点实验室, 陕西 西安 710069

摘 要: 莺歌海盆地广泛发育超压—超高压系统, 但其形成机制与空间分布的控制因素尚不明确。本文综合实测钻井压力、流体包裹体捕获压力、盆地模拟及三维地震资料, 研究莺东斜坡区超压的演化过程与主控因素。结果表明, 研究区压力分布具有显著的空间非均质性: 由断阶带向中央底辟带, 压力系数逐渐升高, 超压顶界逐渐变浅, 该分布特征与断裂纵向贯穿层位密切相关。Bowers 法、声波速度—密度交会分析及同位素证据表明, 超压主要来源于快速埋藏引起的欠压实, 以及渐新统一中新统烃源岩的生烃增压。盆地模拟进一步显示, 上新世以来的快速埋藏促进了烃源岩成熟与生烃, 导致深部压力快速积累。随后, 多期活动断裂作为高压流体运移通道, 促进压力向上传递, 并使不同构造单元形成差异化的压力系统。研究表明, 莺歌海盆地超压演化是欠压实、生烃增压与断裂控制流体运移共同作用的结果, 其中断裂活动对压力传递路径及空间分布具有关键控制作用。研究成果深化了对高温高压盆地超压演化机制的认识, 可为南海北部天然气勘探与孔隙压力预测提供参考。

关键词: 超压; 走滑断裂; 生烃作用; 超压传递; 莺歌海盆地

主要参考文献

- [1] 段威, 罗程飞, 黄向胜, 吕波, 左晓东, 丁亮。莺歌海盆地 LD 区块地层超压对泥岩成岩作用的影响及其地质意义 [J]. 地质科技情报, 2015,34 (4):43-50. 维普期刊
- [2] 范彩伟。莺歌海大型走滑盆地构造变形特征及其油气地质意义 [J]. 石油勘探与开发, 2018,45 (2):190-199.
- [3] 李超, 罗晓容, 范彩伟, 张立宽, 刘爱群, 李虎, 李俊。莺歌海盆地乐东斜坡区乐东 A 构造储层超压形成机制及其对天然气成藏的启示 [J]. 地质科学, 2021,56 (4):1034-1051.
- [4] 李绪深, 杨计海, 范彩伟, 童传新, 许旭东, 熊晓峰。南海北部高温超压天

然气勘探新进展与关键技术 —— 以莺歌海盆地乐东斜坡带为例 [J]. 中国海上油气, 2020,32 (1):23-31.

[5] WANG, Q.-C., CHEN, D.-X., GAO, X.-Z., LI, M.-J., SHI, X.-B., WANG, F.-W., CHANG, S.-Y., YAO, D.-S., LI, S., and CHEN, S.-M., 2023. Overpressure origins and evolution in deep-buried strata: A case study of the Jurassic Formation, central Junggar Basin, western China. *Petroleum Science*, 20(3): 1429-1445. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.12.015>

[6] 杨路, 胡林, 胡高伟, 张亚震, 田金强, 郝芳, 何宗林, 薛岳, 李雪哲, 冯子齐, 李春蕾, 杨白冰。莺歌海盆地超压形成演化过程与控藏作用 [J]. 中国科学: 地球科学, 2025,55 (7):2168-2195.

[7] ZENG, S., QIU, N.-S., LI, H.-L., GAO, J., LONG, K.-J., JIA, J.-K., and ZHU, X.-X., 2023. Generation and distribution of overpressure in ultra-deep carbonate reservoirs controlled by intra-cratonic strike-slip faults: The Ordovician of Shuntuoguole area in the Tarim Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 158: 106515. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106515>

[8] 周杰, 胡林, 胡光伟, 廖健, 郭龙, 刘震。莺歌海盆地莺东斜坡带南段中深层断裂特征及其对天然气成藏的控制 [J]. 地球科学 —— 中国地质大学学报, 2023,48 (8):3021-3030.

编号: NNGSF07031

川中-川北地区侏罗系沙溪庙组致密油气差异富集机制与双源供烃-断裂疏导耦合关系

马骁健¹, 柯光明², 梁家驹¹, 左银辉¹, 高 蕾²

1.成都理工大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 四川 成都, 610059;

2.中国石化西南油气田分公司开发二所, 四川 成都, 610095

摘 要:四川盆地川中—川北地区侏罗系沙溪庙组是致密气勘探的重要接替层系, 阆中区块紧邻天府气田与中台山规模建产区, 钻井油气显示活跃, 但区内油气来源不明、成藏机制复杂, 严重制约了勘探部署。基于天然气组分、碳同位素等地球化学分析, 结合流体包裹体测试、盆地生烃演化模拟及地震断裂解释, 明确了油气来源与充注期次, 并对比分析了川中天府气田、公山庙油藏以及仪陇—营山地区的成藏模式。结果表明, 阆中沙溪庙组天然气为典型煤型气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 介于 $-33\%\sim-35\%$, $\delta^{13}\text{C}_2$ 介于 $-27\%\sim-28\%$; 碳同位素组成与川西生烃中心和本地下伏侏罗系与须家河组地层存在显著差异, 与川东北元坝须四段高度吻合; 川中地区气藏和阆中地区都具有较高的干燥系数、重烃含量、异构比指标相似, 都指示气源来自于高成熟的须家河组烃源岩, 并且经过了长距离的运移; 构造上, 侏罗系沙溪庙组底在川中八角场附近存在构造高部位, 最终证实致密气来源于川东北须家河组, 在区域超压驱动下经川东北地区 I 类深大断裂垂向输导并沿沙溪庙组优势河道砂体发生长距离侧向运移, 属典型的“远源成藏”; 研究区南部公山庙地区及东部仪陇地区致密油源自本地下侏罗统千佛崖组与大安寨段泥页岩, 结合阆中地区沙一段录井油气显示, 认为阆中地区致密油由区内发育的 II 类正断层向上就近输导汇聚于沙一段; 阆中地区具独特的“双源供烃、差异输导”复合特征。综上, 建立起阆中地区“远源供烃、高压驱动、优势砂体聚气; 本地烃源供烃、II 类断裂输导、沙一聚油”的成藏模式, 明确致密气勘探应聚焦靠近川东北生烃中心的阆中地区东北部优质河道砂体, 致密油则应紧扣 II 类断层与沙一段砂体的空间匹配部位, 为川北斜坡带致密油气勘探提供地质依据。

关键词: 沙溪庙组; 远源成藏; 双源供烃; 断裂输导

编号: NGGSF07032

鄂尔多斯盆地北缘杭锦旗地区上古生界天然气丙烷位碳同位素特征及其成因指示

马媛媛^{1,2,3}, 陶 成^{1,2,3}, 吴小奇^{1,2,3}, 卢 丽^{1,2,3}, 李吉鹏^{1,2,3}, 李璐
赞^{1,2,3}, 孙永革^{1,4}

(1.中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;

2.页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室, 江苏 无锡 214126;

3.中国石化油气成藏重点实验室, 江苏 无锡 214126;

4.浙江大学地球科学学院有机地球化学研究组, 浙江 杭州 310027)

摘 要:鄂尔多斯盆地杭锦旗地区上古生界已探明东胜气田和新召气田等千亿方级天然气富集区,但其成因来源仍存在原地生成、近源运移和远源混合等不同认识。常规地球化学指标(如天然气组分、碳同位素及轻烃化合物等)对烃源岩类型、成熟度及次生改造作用具有良好的响应,但在相同成因类型内部(如均为煤成气的情况下),其对母质微观结构及具体生成路径的分辨能力有限,难以提供分子内尺度的精细成因信息。本文在常规组分和碳同位素分析基础上,引入丙烷位碳同位素(position-specific carbon isotope analysis of propane)技术,试图从分子内尺度对杭锦旗地区上古生界天然气的生成路径和母质性质提供新的约束。分析结果显示,杭锦旗地区东胜气田和新召气田上古生界天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值介于-36.3‰~-31.6‰之间, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值介于-28.3‰~-24.4‰,呈正碳同位素序列,主体落在煤成气范畴。丙烷位碳同位素进一步揭示, $\delta^{13}\text{C}_{\text{terminal}}$ 差值均在3‰以内,数据点整体靠近 III 型干酪根演化曲线,印证了该区天然气为同源煤成气; $\delta^{13}\text{C}_{\text{central}}-\delta^{13}\text{C}_3$ 拟合值(约1.2‰)远低于微生物氧化理论阈值2.58,排除了明显微生物降解等次生改造的干扰。在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{terminal}}-\delta^{13}\text{C}_{\text{central}}$ 判别图上,泊尔江海子断裂南北两侧(什股壕地区与独贵加汗地区)及新召东地区样品均一致落在异丙基自由基生成线上,表明该区丙烷生成以异丙基路径为主导,干酪根母质富含支链结构。断裂南北两侧天然气具有一致的位碳同位素分布特征,未显示出明显的气源差异。与盆地南部苏里格气田相比,杭锦旗地区天然气具有明显更负的 $\Delta_{\text{C-T}}$ 值,指示两者干酪根母质结构的差异——苏里格气田以直链结构为主,杭锦旗地

作者简介:马媛媛(1983.12-),女,高级工程师,研究方向:油气地球化学. Email: mayuanyuan.syky@sinopec.com.

区以支链结构为主。综合丙烷位碳同位素特征，杭锦旗地区上古生界天然气被约束为煤成气成因，其丙烷生成以异丙基路径为主导。这一分子内尺度证据为鄂尔多斯盆地北缘杭锦旗地区天然气的气源判识提供了新的地球化学参考。

关键词：丙烷位碳同位素；天然气成因；上古生界；杭锦旗地区；鄂尔多斯盆地

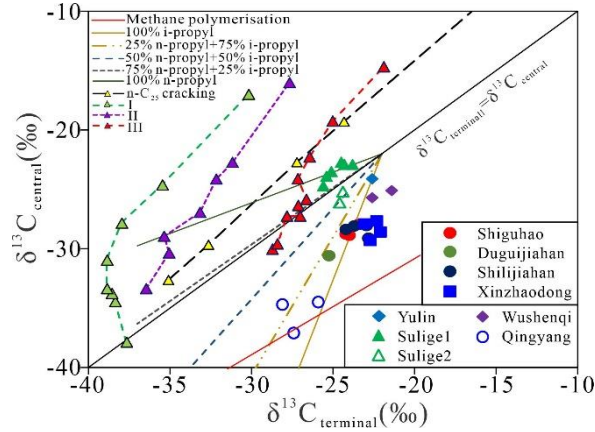


图 1 鄂尔多斯盆地北缘杭锦旗地区与南部气田天然气丙烷 $\delta^{13}\text{C}_{\text{terminal}}-\delta^{13}\text{C}_{\text{central}}$ 交会图

注:n- C_{25} 裂解线引自 Gilbert et al.(2019), 甲烷聚合趋势线引自 Shuai et al.(2024); 不同自由基路径下丙烷热裂解的位碳同位素演化模型据 Wang et al.(2024), I 型、II 型干酪根演化趋势据 Li et al. (2022a, 2022b), III 型据 Zhang et al. (2022)。苏里格 1 气田数据据 Wang et al. (2024); 榆林、苏里格 2、乌审旗及庆阳气田数据据 Shuai et al. (2024)。

参考文献：

- [1] 纪文明, 李淮莲, 刘震, 等, 2013. 鄂尔多斯盆地北部杭锦旗地区上古生界气源岩分析[J]. 天然气地球科学, 24(5): 905-914.
- [2] 倪春华, 刘光祥, 朱建辉, 等, 2018. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区上古生界天然气成因及来源[J]. 石油实验地质, 40(2): 193-199.
- [3] Qin Y, Liu C, Zhao J, et al, 2025. Unravelling the origin of gas in tight sandstones of the Hangjinqi gas field, Ordos Basin, China: New insights from natural gas geochemistry data [J]. Organic Geochemistry, 206: 105012.
- [4] Gilbert A, Sherwood Lollar B, Musat F, et al, 2019. Intramolecular isotopic evidence for bacterial oxidation of propane in subsurface natural gas reservoirs[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116: 6653-6658.
- [5] Milkov A V, Faiz M, Etiope G, 2020. Geochemistry of shale gases from around the

world: Composition, origins, isotope reversals and rollovers, and implications for the exploration of shale plays[J]. *Organic Geochemistry*, 143: 103997.

[6] Shuai Y, Bai B, Liu X, et al, 2024. Position-specific carbon isotopes of propane in coal systems in China[J]. *Fuel*, 360: 130515.

[7] Wang X, Liu P, Liu W, et al, 2024. Intramolecular carbon isotope of propane from coal-derived gas reservoirs of sedimentary basins: Implications for source, generation and post-generation of hydrocarbons[J]. *Geoscience Frontiers*, 15: 101806.

编号: NNGSF07033

渤海海域氦气壳幔混合成因、富集机制与有利区优选

逢格宇^{1,2}, 冯子齐^{1,2}, 王浩浩^{1,2}, 杨明祥^{1,2}

1. 中国石油大学(华东)深层油气全国重点实验室, 山东 青岛 266580;

2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

摘 要: 渤海海域具有天然气伴生氦气资源潜力, 但壳幔氦源贡献及运移、聚集和保存过程的控制因素尚不明确。综合渤海海域天然气组分、He、Ne、Ar、地层水离子、岩石 U-Th 含量等地球化学数据及构造-热演化资料, 结合渤海湾盆地的氦同位素区域对比数据, 采用壳幔二元混合、气水相平衡及构造-热演化耦合数值模拟方法, 探讨氦气来源与富集机制。结果表明:(1)氦气来源存在区域差异, 沙垒田凸起存在幔源氦混入, 渤中、黄河口和莱州湾凹陷主要表现为壳幔混合, 模型估算的幔源氦贡献最高可达约 68.2%; (2)区域尺度上, 氦同位素比值 R/Ra 总体随距郯庐断裂带距离增大而降低, 结合不同层位的分布差异, 指示深大断裂与储层共同控制氦的垂向输导和横向分配;(3)N₂ 与 He 含量的正相关指示非烃气体载氦运移, CO₂ 损失、含氦地层水沿断裂输导并在高部位脱气均促进气相氦富集;(4)构造-热演化分析与数值模拟指示, 多期热事件促进基底矿物释氦, 断裂活动影响深部流体输入及氦气逸散, 局部圈闭的有效封闭有利于氦气保存。渤海海域氦气富集是在基底释氦、断裂输导、储层横向运移与垂向逸散共同作用下形成的局部聚集, 沙垒田凸起和渤中西南洼局部构造高部位可作为优先评价区。研究提出了构造-热演化与气水分配共同控制的渤海海域氦气富集模式, 为海域天然气伴生氦气勘探评价提供依据。

关键词: 渤海海域、氦气、壳幔混合、断裂输导、构造-热演化

参考文献

[1] PEI L X, WANG X F, LIU W H, et al. Insight into the mechanism of helium enrichment in natural gas from the Bohai Bay Basin, China: Chemical and isotopic composition perspectives[J]. Gas Science and Engineering, 2024, 125: 205324. DOI: 10.1016/j.jgsce.2024.205324.

[2] 陶士振, 杨怡青, 陈悦, 等. 氦气资源形成地质条件、成因机理与富集规律

作者简介:逢格宇, E-mail: cupecpgy@163.com

- [J]. 石油勘探与开发, 2024, 51(2): 436-452. DOI: 10.11698/PED.20230416.
- [3] DAI J X, NI Y Y, QIN S F, et al. Geochemical characteristics of He and CO₂ from the Ordos (cratonic) and Bohaibay (rift) basins in China[J]. Chemical Geology, 2017, 469: 192-213. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2017.02.011.
- [4] BALLENTINE C J, SHERWOOD LOLLAR B. Regional groundwater focusing of nitrogen and noble gases into the Hugoton-Panhandle giant gas field, USA[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2002, 66(14): 2483-2497.
- [5] TORGERSON T, CLARKE W B. Helium accumulation in groundwater I: An evaluation of sources and the continental flux of crustal ⁴He in the Great Artesian Basin, Australia[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1985, 49(5): 1211-1218. DOI: 10.1016/0016-7037(85)90011-0.
- [6] 张功成, 朱伟林, 邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 14-18. DOI: 10.7623/syxb200102003.

编号: NGGSF07034

页岩型氦气同位素示踪及贫氦原因探究

彭嘉钰¹, 伏美燕¹, 黄婷婷², 叶荣杰¹, 陶辉飞³, 朱俊阳¹, 曾鑫耀², 杨文明¹, 兰浩翔¹

1.成都理工大学能源学院(页岩气现代产业学院), 四川 成都 610059; 2.中国石油川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院, 四川 成都 610051; 3.中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730030

摘 要:我国氦气资源整体丰度偏低, 富氦气藏数量有限, 在天然气规模化开发背景下, 低丰度伴生氦资源同样具有重要评价意义。页岩型氦气资源潜力受到广泛关注, 四川盆地五峰组—龙马溪组页岩气中氦气含量偏低, 但资源量大, 其中氦气来源、赋存状态及富集机制仍需进一步明确。本文以威远地区龙马溪组页岩气为研究对象, 基于天然气组分、稳定同位素、稀有气体同位素测试结果, 对页岩气中氦气成因、来源与富集主控因素进行分析。结果表明, 研究区龙马溪组页岩气整体表现为高甲烷、低非烃气体和低氦气含量特征, CH_4 含量多高于 95%, 显示成熟—过成熟阶段干气特征; He 含量平均约 0.02%, 总体属于贫氦页岩气体系, R/Ra 值为 0.0098~0.0303, 指示氦气主要为壳源成因。稳定同位素及 He-N₂、Ne-Ar 示踪结果显示, 部分样品具有较高 $^4\text{He}/\text{N}_2$ 、较低 $^{20}\text{Ne}/\text{N}_2$ 和偏轻 $\delta^{15}\text{N}-\text{N}_2$ 特征, 表明 He 与 N₂ 可能存在一定伴生或共同运移关系; 多数样品 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值明显高于大气端元, 说明存在放射成因 ^{40}Ar 加入, 指示深部壳源气体对龙马溪组页岩气藏具有一定补充作用。龙马溪组富 U、Th 页岩及下伏基底花岗质岩石共同构成壳源生氦基础, 高丰度甲烷稀释作用 He 体积分数偏低的原因, 而较高压力系数和良好封闭保存条件有利于 He 在页岩微纳米孔隙、裂缝及地层水体系中滞留。威远地区龙马溪组氦气富集受页岩原位生氦、深部壳源补充、地层水与载体气调节、超压保存和甲烷稀释共同控制; 其中, 高丰度甲烷稀释、页岩释氦效率有限以及气-水体系分配作用是导致其游离气相 He 体积分数偏低的重要原因。资源量计算结果显示, 龙马溪组页岩自身生氦量能够支撑现今氦气赋存。威远地区龙马溪组氦气富集模式为页岩原位生氦为主、深部壳源氦补充、地层水与载体气调节、超压保存与甲烷稀释共同控制的贫氦页岩气藏。本研究能够为古老

通讯作者: 彭嘉钰, 2001.09, 女, 博士研究生, 主要从事氦气勘探研究。
E-mail: 2023050147@stu.cdut.edu.cn

深层海相页岩型氦气勘探提供地质依据。

关键词：龙马溪组；页岩气；壳源氦；稀有气体同位素；伴生氦资源

参考文献：

- [1] 秦胜飞, 赵姿卓, 吴伟, 等. 煤层气与页岩气含氦性及氦气富集条件[J]. 天然气地球科学, 2024, 35(5): 890-901.
- [2] Danabalan D, Gluyas J G, Macpherson C G, et al. The principles of helium exploration[J]. Petroleum Geoscience, 2022, 28(2): petgeo2021-029.
- [3] 聂海宽, 刘全有, 党伟, 等. 页岩型氦气富集机理与资源潜力——以四川盆地五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(6): 1285-1294.
- [4] 马勇, 陈践发, 辛志源, 等. 非常规天然气中氦资源潜力及富集机制[J]. 石油学报, 2025, 46(2): 440-455,482.

编号：NGGSF07035

柴达木盆地马仙地区致密砂岩气发现与地质新认识

蒲永霞，邵泽宇

青海油田勘探开发研究院，甘肃 敦煌 736202

摘 要：近年来，青海油田油气勘探已进入非常规油气常态化攻关阶段，致密砂岩气勘探技术急需突破。LT1 井是马仙隆起仙南斜坡的一口风险探井，该井于 2024 年在上侏罗系试气获工业气流，打开了柴达木盆地北缘致密砂岩气勘探新局面。依托两年勘探实践，建立马仙地区致密气成藏模式，取得五点核心认识：①柴北缘侏罗系受三期构造作用，基底为元古界的地层，侏罗系地层保存条件优越，是后续重点勘探领域；②马仙地区受三期构造改造，形成多期裂缝，地应力特征复杂，目前应力释放区均获得高产。③马仙地区属于继承性古斜坡，具有台阶控沉积相带、沟槽控制砂体展布的特点；④多井勘探证实，马仙地区侏罗系主力目的层为大煤沟组四段 3 油组，整体发育扇三角洲沉积体系，储集类型岩相包含砂岩、砾岩两类，针对这两种岩性优选优势甜点区，开展优势储层预测工作，明确优质储层分布；⑤建立马仙斜坡煤系全油气系统成藏模式，常规油气、致密气与深层煤岩气呈有序分布。上述新认识深化了对陆相致密砂岩气成藏规律的理解，为下一步有利勘探方向优选及高效开发提供了重要理论依据与技术支持。

关键词：柴达木盆地；致密砂岩气；地应力；古隆起；储层；侏罗系；岩性油气藏勘探

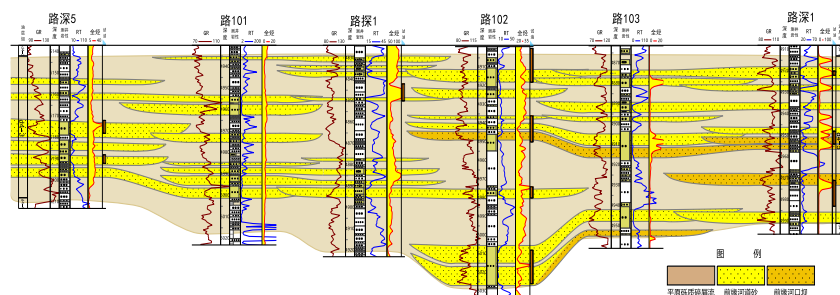


图 1 马仙斜坡致密砂岩气优质砂岩分布图

作者简介：蒲永霞（1994-），女，三级工程师，2016年毕业于中国石油大学（北京）勘查技术与工程专业，现在青海油田勘探开发研究院从事油气藏勘探工作，曾获青海油田公司科技进步奖。E-mail: pyxiaqh@petrochina.com.cn。

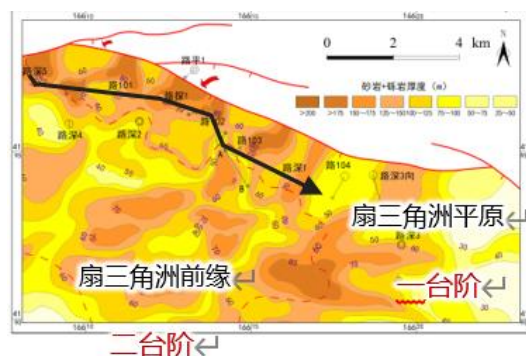


图2 马仙斜坡 J2d4-3 含气段沉积微相平面图

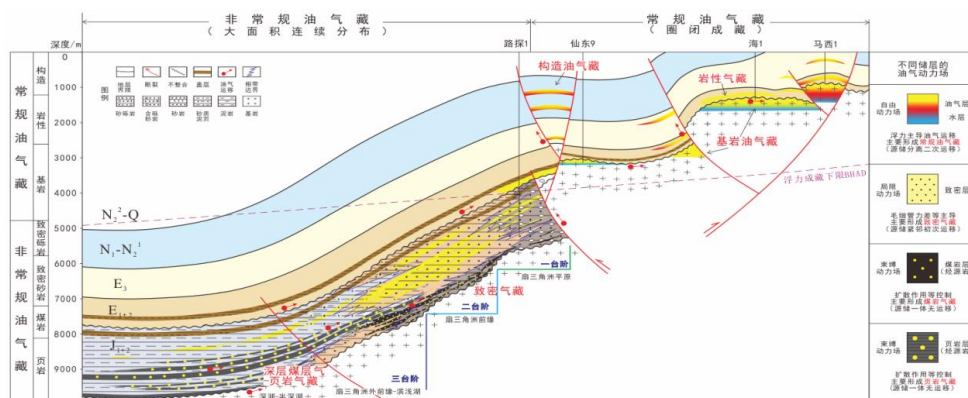


图3 马仙斜坡全油气系统成藏模式图

参考文献

- [1]徐兆辉,薛建勤,田继先,等.基于“源-渠-汇-砂-储-藏”体系得岩性油气藏勘探方法[J].
中国石油勘探,2026,31(3):34-50.
Liu Guoyong, Xu Zhaohui, Xue Jianqin, et al. Lithologic oil and gas reservoir
exploration method based on “provenance—channel—catchment—sandstone—
reservoir—
hydrocarbon accumulation system: a case study of the Jurassic in Maxi ” an area,
Qaidam Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2026,31(3):34-50.
- [2]李剑,田继先,王波,等.柴达木盆地深层天然气富集条件及勘探潜力[J].地质力学
学
报,2023,29(5):618-630.
Li Jian, Tian Jixian, Wang Bo, et al. Enrichment conditions and exploration potential
of deep natural gas in Qaidam Basin[J]. Journal of
Geomechanics,2023,29(5):618-630.
- [3]杜春阳,唐闻强,杜秋定,等.柴达木盆地冷湖地区侏罗系致密砂岩储层特征与控
制因素[J].沉积与特提斯地质,2023,43(3):501-514.
Du Chunyang, Tang Wenqiang, Du Qiuding, et al. Characteristics and controlling
factors of Jurassic tight sandstone reservoirs in Lenghu area, Qaidam Basin[J].
Sedimentary Geology and Tethyan Geology,2023,43(3):501-514.

编号: NNGSF07036

氦气研究现状及面临的科学问题

秦胜飞, 李济远, 王佳美, 高红亿, 卢 铎

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘 要: 氦是国家战略性稀有气体资源, 地质领域围绕氦源、运移、富集与保存开展大量研究, 逐步建立起氦气富集理论基本框架, 但相较于油气地质, 整体理论体系仍不成熟, 存在诸多亟待突破的科学难题。

当前研究表明, 氦气分为壳源、幔源两类成因: 壳源氦来主要自古老基底花岗岩、变质岩与含铀钍沉积岩的放射性衰变, 是工业富氦气藏的主力来源; 幔源氦由地幔脱气产生, 依靠切穿岩石圈的深大断裂向上输送, 在东部构造活跃盆地贡献更显著。国内富氦资源呈现东西分带特征, 中西部盆地以壳源氦为主, 东部盆地壳幔混源特征明显。氦气无法单独成藏, 必须依附天然气或地下水作为载体运移。氦气生成周期漫长, 生氦过程贯穿盆地演化全程, 而富集往往受控于晚期构造抬升、流体相变与水动力条件变化, 普遍存在“弱源成藏”特点, 即在生氦速率低的条件下, 依靠长期累积与高效富集形成富氦气藏, 且常表现氦氮耦合富集规律, 氦气可作为重要勘探指示标志。

同位素地球化学手段成为解析氦气源区、判识壳幔贡献比例的核心技术, 也初步建立富氦远景区评价思路, 优先瞄准古老基底发育、基底断裂活跃、抬升幅度较大且烷烃气稀释效应较弱的区域。但总体来看, 氦气地质研究起步晚, 氦气富集理论仍属于定性描述阶段, 定量模型欠缺。

现阶段面临的核心科学问题首先是氦源与生氦潜力定量评估难题。岩石铀钍含量、矿物赋存状态、热演化历史共同控制生氦总量, 但岩石内部氦的保留、释放机制尚不清晰, 从矿物晶格释放到进入孔隙流体的过程难以量化, 不同基底岩系生氦通量估算误差大, 无法精准预测区域氦供给能力。其次是氦气运移与富集动力学机制不清。氦分子半径极小, 扩散能力极强, 渗流、扩散、水溶脱溶多过程耦合, 传统油气运移理论难以直接套用; 断裂兼具输导与渗漏双重属性, 断裂活动期次、开度演化如何调控氦通量, 以及常压、负压环境下氦气动态富集, 散

基金项目: 国家自然科学基金专项项目《中西部叠合盆地氦气富集机理与资源潜力》(批准号: 42141022)、面上项目《富氦煤层气和页岩气藏氦气富集机理》(批准号: 42272189)、联合资助。

作者简介: 秦胜飞, 正高级工程师、博士, 从事天然气地质与地球化学、油气成藏、氦气富集机理和分布规律等方面的研究。E-mail: qsf@petrochina.com.cn

失平衡机制，仍是研究难点，水溶氦脱溶富集的定量阈值尚未统一。

第三是氦气盖层保存机理与评价体系缺失。常规油气盖层评价标准不能直接用于氦气，富海气藏中的氦气富集未必需要更好的封盖条件，盖层越好对氦气的估计可能不利。第四是多流体耦合干扰与地球化学示踪多解性问题。烃类、氦气、地层水与氦气长期相互作用，同位素端元选取、流体混合分馏效应复杂，仅凭 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素难以唯一判别气源与运移路径。此外，富氦资源空间分布非均质性极强，氦含量在井间、层段变化剧烈，小尺度地质体控制氦富集的规律不明，制约有利区带预测精度。

综上，氦气地质研究已经完成基础理论框架搭建，但在生氦通量定量、多相流体运聚动力学、氦专用盖层理论等基础科学问题上仍存在明显短板。未来需要加强原位稀有气体测试，构建多场耦合数值模拟方法，建立针对氦气的资源评价方法体系，支撑我国富氦资源高效勘探。

关键词：氦气；富氦气藏；富集理论；研究现状；主控因素

编号: NGGSF07037

阿瓦提古裂陷构造—沉积演化期次与源储发育新机制

任广原^{1,2}, 朱永进², 俞 广², 祝谓平³, 熊 冉², 郑剑锋²

1.东北石油大学地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2.中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 3.中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020

摘 要: 阿瓦提凹陷位于塔里木盆地西北部, 面积约 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是塔里木盆地内目前唯一尚未实现规模油气发现的生烃凹陷。该区发育 6 套储盖组合 (其中寒武系盐下发育 2 套), 阿瓦提周缘多口井多套层系已获良好油气发现, 展现出寒武系盐下广阔的油气勘探前景。相比于东部的满加尔古裂陷, 阿瓦提古裂陷规模小, 同时由于前期资料等限制, 阿瓦提凹陷深层南华系—寒武系构造-沉积演化序列不清楚; 野外露头上看到, 阿瓦提古裂陷主体区发育有规模性的肖尔布拉克组白云岩储层, 具有早期宽裂谷-晚期窄裂谷, 快速填平补齐的特征, 在裂陷主体区出现高能丘滩相产物, 南华系古裂陷控制作用弱。相较于传统大型裂陷“裂陷控源控储”的演化序列呈现出明显不同的特点; 在这种小型裂陷的构造—沉积演化框架下, 源储发育与时空展布特征不够明确, 特别是玉尔吐斯组烃源岩厚度薄, 仅靠该套烃源岩能否支撑盐下规模勘探, 盐下寒武系是否存在新的源储发育机制, 成为制约盐下天然气进一步突破的关键问题。

以阿瓦提古裂陷为对象, 采用野外露头解剖与地下地震解释相结合、定量静态描述与定性数值模拟相结合、宏观与微观相结合的技术方法, 实测尤尔美那克、肖尔布拉克、苏盖特布拉克等 3 条露头剖面, 在前人 4 条地震格架线基础上新增并解释二维地震剖面 12 条, 二维测线解释长度超 1300 km, 综合 25 口钻井资料及 300 余件露头、薄片和 200 余个样品测试、15 类地球化学分析资料, 明确了阿瓦提古裂陷的演化过程, 初步评价 3 套储层, 明确 2 套烃源岩分布, 发现肖尔布拉克组下段新烃源岩, 建立了“断裂活化—丘滩体差异生长—海平面升降”3 方面因素控制的源储发育新机制。

研究表明: (1) 阿瓦提深层南华系—中寒武统可划分为裂陷期 (西方山组—牧羊滩组)、裂坳转换期 (冬屋组—奇格布拉克组) 和克拉通伸展期 (玉尔

作者简介: 任广原, E-mail: rgy031004@163.com

吐斯组—阿瓦塔格组) 3 个演化期次、7 个亚演化阶段, 沉积体系由裂陷期-裂坳转换前期的碎屑岩快速充填演变为裂坳转换后期的碳酸盐岩台地建造, 至克拉通伸展期依次经历海泛、台地建造与成盐过程。(2) 与传统大型裂陷“早裂开、晚充填、长期控源控储”的结构样式不同, 阿瓦提古裂陷呈“早期宽裂谷—晚期窄裂谷”结构, 规模小、伸展量小、裂陷期短促、裂坳转换快, 表现为早裂开、早充填、快速填平补齐, 源储配置不受裂陷结构直接控制而主要受裂后事件与局部构造控制, 据此提出早衰型裂陷类型并建立了早期裂陷—裂坳转换—裂后沉降的沉积演化模式。(3) 研究明确了盐下 2 套烃源岩的分布特征: 下寒武统玉尔吐斯组为盐下主力烃源岩, 以黑色页岩、硅质岩为主, TOC 普遍大于 3%、最高达 16.50%, R_o 为 1.3%~2.98%, 处于成熟—高成熟阶段; 新发现下寒武统肖尔布拉克组下段泥质灰岩(烃泥灰岩), 已证实为规模有效烃源岩, 厚 20~90 m(约 70 m), TOC 为 0.10%~7.56%; 评价了盐下 3 套储层, 下寒武统吾松格尔组主要发育灰黄色粉晶白云岩, 储集空间主要为基质溶孔、溶蚀孔洞、角砾间孔缝; 下寒武统肖尔布拉克组上段为孔洞-裂缝型储层, 主要发育浅灰-灰色白云岩、灰色砂屑白云岩, 储集空间为骨架孔、粒间溶孔、溶蚀孔洞及裂缝, 孔隙度为 0.1%~13.121%、渗透率为 $(0.1\sim2.98)\times10^{-3} \mu\text{m}^2$; 上震旦系奇格布拉克组主要发育规模不等的各类微生物白云岩。(4) 提出“断裂活化—丘滩体差异生长—海平面升降”三因素共同控制源储发育的新机制: 断裂再活化形成局部高地与洼地, 叠加海平面升降控制下的碳酸盐岩差异生长速率分化, 导致高能丘滩(白云岩化)与低能灰岩—泥质沉积的相带分异研究提出的早衰型裂陷类型与缓坡内洼地沉积演化模式, 丰富了克拉通内分异条件下的源储发育方式; 新发现的肖尔布拉克组下段规模烃源岩, 为阿瓦提地区寒武系盐下天然气勘探拓展了新的烃源基础; 未来勘探方向为“洼子里找油”, 在平缓大构造背景下寻找局部高地/洼陷, 为同类克拉通内分异地区的油气目标优选提供有益借鉴。

关键词: 阿瓦提凹陷; 早衰型裂陷; 南华系—寒武系; 构造—沉积演化; 烃源岩; 断裂再活化; 塔里木盆地

主要参考文献

- [1] 陈永权, 王晓雪, 何皓, 等. 塔里木克拉通南华纪—寒武纪隆坳格局演化[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(04): 30-46. DOI: CNKI: SUN: KTSY. 0. 2022-04-003.
- [2] 邬光辉, 邓卫, 黄少英, 等. 塔里木盆地构造—古地理演化[J]. 地质科学, 2020, 55(02): 305-321. DOI: CNKI: SUN: DZKX. 0. 2020-02-001.
- [3] 管树巍, 张春宇, 任荣, 等. 塔里木北部早寒武世同沉积构造——兼论寒武系盐下和深层勘探[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(6): 1075-1086.
- [4] 吴林, 管树巍, 冯兴强, 等. 塔里木盆地及周缘南华系和震旦系划分对比研究[J]. 岩石学报, 2020, 36(11): 3427-3441.

- [5] 漆立新,云露.塔里木台盆区碳酸盐岩成藏模式与勘探实践[J].石油实验地质,2020,42(5):867-876.
- [6] 周进高,等.四川盆地德阳—安岳裂陷源储分布及其成藏意义.2018.
- [7] 汪泽成,赵文智,黄士鹏,等.中国小克拉通构造分异与古老海相碳酸盐岩油气富集规律[J].地质学报,2023,97(09):2842-2857.DOI:10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023205.
- [8] 臧建鹏.阿瓦提凹陷下古生界烃源条件及生烃模拟研究[D].中国石油大学(北京),2022.DOI:10.27643/d.cnki.gsybu.2022.001999.
- [9] 刘佳楠.阿瓦提及周缘寒武系玉尔吐斯组烃源岩生烃演化[D].中国地质大学(北京),2023.DOI:10.27493/d.cnki.gzdzy.2023.000685.
- [10] 高永进,尹成明,刘丽红,等.塔里木盆地西北缘寒武系肖尔布拉克组烃源岩特征[J].石油与天然气地质,2024,45(4):1064-1078.
- [11] 孙学虎,吕奇奇,谭聪,等.塔里木盆地北部地区下寒武统吾松格尔组岩相组合、沉积特征及沉积模式[J].大庆石油地质与开发,2024,43(2):20-29.DOI:10.19597/J.ISSN.1000-3754.20230203
- [12] 陈文玲,罗平,单钰铭,等.塔里木苏盖特布拉克地区肖尔布拉克组白云岩储层特征分析[J].石油地质与工程,2010,24(1):12-15.
- [13] 刘禹.塔里木盆地柯坪露头区上震旦统奇格布拉克组储层研究[D].中国石油大学(北京),2022.DOI:10.27643/d.cnki.gsybu.2022.000406.
- [14] 向婷婷,吕奇奇,朱永进,等.塔里木盆地西北缘阿克苏地区南华系—震旦系层序及构造—沉积演化模式[J].东北石油大学学报,2026,50(3):73-86+141-142.
- [15] Zhu, Y.; Zheng, J.; Chu, C.; Lyu, Q.; Tian, H.; Kang, T.; Zhang, T.; Huang, L. New Understanding of the Early Cambrian Uplift - Depression Framework and the Large-Scale Source - Reservoir Distribution along the Margin of the Awati Sag in Tarim Basin, NW China. Minerals 2024, 14, 646. <https://doi.org/10.3390/min14070646>
- [16] Song, Z.; Zhang, Z.; Ding, X.; Zhang, Y.; Bai, Z.; Liu, L.; Gao, Y. Geochemical Characteristics of the Paleozoic Marine Source Rocks and Ultra-Deep Hydrocarbon Accumulation Mode of the Awati Sag. Energies 2024, 17, 2124. <https://doi.org/10.3390/en17092124>
- [17] Cheng Zhong, Tongsheng Zeng, Chengzao Jia, Guoqi Wei, Dong Jia, Yongjin Zhu, Hongwei Yin, Zhuxin Chen, Xing Wang, Yong Zhang; Buried rift basin under the Kalpin fold-thrust belt in the northwestern Tarim Basin: Implications for deep oil and gas exploration. AAPG Bulletin 2024;; 108 (10): 2009–2043. doi: <https://doi.org/10.1306/07122422055>

编号: NGGSF07038

窄河道致密砂岩气藏储层地质建模方法与应用

阮基富¹, 唐 松¹, 罗 皓², 汪煜昆¹, 赵玄之¹

1. 中国石油西南油气田公司川中油气矿, 四川 遂宁 629000;

2. 中国石油西南油气田公司致密油气勘探开发项目部, 四川 成都 610051

摘 要: 天府气田秋林 16 井区沙溪庙组沙二 1 亚段 8 号砂组为浅水三角洲窄河道、低孔特低渗致密砂岩气藏, 具有砂体窄薄、多期切叠、平面强非均质、含气性与产能差异大等特点。针对传统阈值雕刻边界模糊、构型期次分离困难、甜点评价偏单参数、剩余气定量不足等问题, 构建了“智能构型雕刻—相控属性建模—多参数甜点量化—历史拟合剩余气数模”一体化地质理论方法。研究表明: 残差—注意力 U-Net 结合分频反演与地质交互, 可实现窄河道多期切叠的体素级雕刻, 多级嵌入式构型使分流河道、溢岸、间湾比例与单井统计误差小于 5%, 显著改善了传统方法的边界模糊与期次混叠; 基于皮尔逊—Fisher—层次聚类建立的甜点综合评价因子 C, 实现了 I/II/III 类甜点定量分类, 回判吻合率达 90.59%; 构造—智能构型—相控属性—甜点模型联合构建后, 8 号砂组模型储量拟合误差仅 1.7%, 生产历史拟合单井吻合率超 90%, 为剩余气定量描述提供了可靠模型。研究成果可为窄河道致密气构型理论创新与剩余气精细开发提供方法借鉴与技术支持。

关键词: 窄河道; 致密砂岩; U-Net 构型雕刻; 相控属性; 剩余气; 数值模拟

主要参考文献

- [1] 魏立花, 杨占龙, 韩小锋, 黄云峰, 张丽萍, 黄小鹏. 薄砂体—窄河道地震识别技术研究及其在吐哈盆地 SN 地区应用[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(12): 2025-2033
- [2] 杨迅, 孙志昀, 田云英, 等. 四川盆地宽/窄河道型致密砂岩储层差异演化模式——以梓潼地区沙一段致密砂岩为例[J]. 天然气地球科学, 2025, 36(8): 1446-1458

作者简介: 阮基富 (1983-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 2008 年毕业于西南石油大学油气田开发工程专业, 主要从事三维地质建模与数值模拟研究、开发动态分析方面的研究工作。地址: 四川省遂宁市船山区河东新区香林南路 178 号(629000)。电话: (0825)2517668。E-Mail: ruanjifu@petrochina.com.cn。

- [3] 丰妍,李明秋,邓清源,等.四川盆地天府气田沙溪庙组大型致密砂岩气藏高效开发实践[C]//第二届中国天然气开发技术年会.中国石油西南油气田公司勘探开发研究院, 2023.
- [4] 葛枫,张本健,桑宇,等.四川盆地陆相致密河道砂岩气藏关键开发技术与高效实践[J].天然气工业, 2025, 45(12):139-149.
- [5] 彭越.窄河道致密砂岩气藏水平井生产规律及数值模拟研究[D].中国地质大学(北京),2020.
- [6] 贾爱林,王国亭,孟德伟,等.大型低渗-致密气田井网加密提高采收率对策——以鄂尔多斯盆地苏里格气田为例[J].石油学报,2018,39(07):802-813.
- [7] 马志欣, 吴正, 李进步, 等. 河流相致密砂岩气藏剩余气精细表征及挖潜对策——以苏里格气田中区 SSF 井区为例[J]. 天然气工业, 2023, 43(8): 55-65.
- [8] 岳大力, 李伟, 杜玉山, 等. 河流相储层地震属性优选与融合方法综述[J]. 地球科学, 2022, 47(11): 3929-3943.
- [9] 何江, 杨羿, 陈文, 等. 窄河道型致密砂岩储层特征及主控因素——以天府气田金华区块沙溪庙组为例[J]. 断块油气田, 2024, 31(1)1-10.

编号: NGGSF07039

盐晶体:提高页岩气藏采收率的天然支撑剂

邵佳新, 游利军, 康毅力, 许成元, 陈明君, 王艺钧

油气藏地质及开发工程全国重点实验室 西南石油大学, 四川 成都 610500

摘 要:页岩气藏天然裂缝闭合是气井初期产量快速递减的关键原因。常规支撑剂粒径过大难以进入天然裂缝, 且在高闭合应力下易嵌入裂缝壁面, 反而降低导流能力。本文提出利用盐晶体作为天然裂缝的“天然支撑剂”这一创新思路。通过应力敏感性实验, 对比盐晶体与常规支撑剂的力学行为与渗流特征, 揭示其缓解页岩储层应力敏感性的机理。实验样品取自四川盆地龙马溪组页岩, 采用巴西劈裂法制造人工裂缝, 在单层和多层支撑模式下分别用盐晶体和常规支撑剂支撑裂缝, 在 3~50 MPa 有效应力范围内测量渗透率并计算应力敏感性系数, 同时利用显微镜和扫描电镜观察盐晶体微观结构、裂缝表面形貌及嵌入情况。结果表明, 盐晶体能有效支撑裂缝并显著缓解应力敏感性。无支撑、盐晶体单层支撑和多层支撑的应力敏感性系数分别为 0.64、0.45 和 0.44。当有效应力低于 20 MPa 时, 多层盐晶体支撑渗透率高于单层; 当有效应力高于 40 MPa 时, 单层盐晶体支撑渗透率甚至高于单层支撑剂支撑, 这是因为盐晶体硬度低、不易嵌入裂缝壁面, 而支撑剂在高应力下嵌入壁面导致裂缝宽度减小。盐晶体在应力作用下破碎为粉末状颗粒, 相互嵌合胶结形成致密结构; 单层支撑形成层状力链网络, 多层支撑形成更复杂的力链网络, 后者在低应力下更稳定。实验后盐晶体未嵌入裂缝壁面, 裂缝表面凸起高度仅略有变化。盐晶体主要成分为 CaSO_4 , 文献表明其抗压强度在 30~50 MPa 之间, 足以满足储层支撑需求。未来可优化生产压差控制, 促进盐晶体在天然裂缝中生长, 形成“支撑剂支撑水力裂缝、盐晶体支撑天然裂缝”的协同开发模式, 缓解气井初期产量递减, 保持页岩气井高产稳产。

关键词:页岩气; 盐晶体; 微观结构; 自支撑; 应力敏感性

主要参考文献

- [1] Shao J, You L, Jia N, Kang Y, Chen M, Lei X. Salt crystal: Natural proppant for enhancing shale reservoir production[J]. Energy, 2023, 262 (B): 125569.
- [2] Tong S, Miller C, Mohanty K K. In situ generated proppants for shale reservoirs[J]. Fuel, 2022, 319: 123776.

作者简介:邵佳新, E-mail: 597084459@qq.com

- [3] Tong S, Miller C, Mohanty K K. Generation of in-situ proppant through hydro-thermal reactions[C]//SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition. The Woodlands, Texas, USA: SPE, 2019, SPE-194320-MS.
- [4] McDaniel G, Abbott J, Mueller F, Mokhtar A, Pavlova S, Neuvonen O, Parias T, Alary J A. Changing the shape of fracturing: New proppant improves fracture conductivity[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Florence, Italy: SPE, 2010, SPE-135360-MS.
- [5] Chang F, Berger P, Lee C. In-situ formation of proppant and highly permeable blocks for hydraulic fracturing[C]//SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference. The Woodlands, Texas, USA: SPE, 2015.
- [6] Shao J, You L, Jia N, Kang Y, Chen M, Lei X. Experimental study on the effect of salt crystallization on multi-scale transportation of shale gas[J]. Gas Science and Engineering, 2023.
- [7] Tong S, Mohanty K K. Proppant transport study in fractures with intersections[J]. Fuel, 2016, 181: 463 - 470.
- [8] Alotaibi M A, Miskimins J L. Slickwater proppant transport in hydraulic fractures: New experimental findings and scalable correlation[J]. SPE Production & Operations, 2018, 33(2): 164 - 178.
- [9] Wu K. A model for the conductivity and compliance of unpropped and natural fractures[J]. SPE Journal, 2017, 22: 1893 - 1908.
- [10] Chun T, Zhu D, Zhang Z, Mao S, Wu K. Experimental study of proppant transport in complex fractures with horizontal bedding planes for slickwater fracturing[J]. SPE Production & Operations, 2021, 36(1): 83 - 96.

编号: NNGSF07040

鄂尔多斯盆地长 3 原油与长 7 烃源岩地化特征及其油源对比

石景文, 王爱国

西北大学地质学系 陕西 西安 710069

摘 要: 使用全烃气相色谱和饱和烃与芳香烃色谱质谱联用技术对鄂尔多斯盆地内的陇东、陕北等地区展开了盆地范围的测试, 对长 7 和长 3 以浅的原油开展了地化研究, 研究发现, 长 3 原油与长 7 烃源岩的生源指标存在相近的特征, 通过 C_{20} 、 C_{21} 和 C_{23} 三环萜烷的分布特征发现, 长 3 原油均呈上升型, 与长 7 烃源岩存在对应关系, 二者的 $\alpha\alpha RC_{27}/C_{29}$ 规则甾烷的比值一致, 伽马蜡烷指数指示长 3 原油与长 7 的烃源岩均形成与水体分层不明显的环境当中, 除上述指数存在一致性以外, 长 3 原油的 Ts/Tm 与重排藿烷等反应成熟度的参数均表明, 长 3 原油的成熟度低于长 7 烃源岩, 根据甲基菲指数与甲基菲比值计算出的长 3 原油的等效 R_o 范围为 0.5%~0.7%, 这一差异指示长 3 原油充注于长 7 烃源岩排烃早期, 充注时间可能为侏罗纪晚期至白垩纪初期。此外, 含氮化合物的证据也表明长 3 原油在运移过程中存在垂向运移与纵向运移两种方式。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 长 3 段; 陇东; 石油地化; 石油运移

第一作者: 石景文, 男, 宁夏吴忠人, 在读研究生, 从事油气地化与油气成藏研究, E-mail: 1600280538@qq.com

通讯作者: 王爱国, 男, 山东聊城人, 副教授, 从事油气地化与油气成藏工作, E-mail: wag@nwu.edu.cn

编号: NNGSF07041

规整化拟压力、规整化拟时间——气藏工程的灵魂

孙贺东

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘 要: 气体可压缩性显著大于液体, 造成气、液渗流规律存在本质区别。气体渗流研究虽可借鉴液体渗流的基础理论体系, 但必须充分考虑气体高压 PVT 性质的影响。引入规整化拟压力、规整化拟时间变量, 可实现气体非线性渗流方程的线性化转换, 使气体渗流方程及其解析解的形式与液体渗流方程保持一致。本文以均质无限大气藏、圆形有界气藏中一口定产生产的直井为研究对象, 给出了基于规整化拟压力、规整化拟时间形式的气体渗流微分方程、气体非稳态流动和气体拟稳态流动的解析解, 系统阐述了气藏产能试井、不稳定试井和产量不稳定分析的基本原理。受气体特殊物性影响, 油藏工程分析方法不能直接照搬应用于气藏工程: ①在尚未感受到边界效应的不稳定流动阶段, 降压试井分析采用真实时间, 否则采用规整化拟时间; ②压力恢复测试采用规整化拟时间; ③拟稳态条件下, 气体情形规整化拟压力与规整化拟时间呈现线性关系, 而液体情形则是真实压力与真实时间呈现线性关系; ④气井回压法产能试井、弹性二相法、产量不稳定分析, 均要求流动达到拟稳态; ⑤气井弹性二相法本质是流动物质平衡法(FMB)。研究表明: 由于气体 PVT 性质的影响, 油藏工程方法不能简单移植到气藏工程; 规整化拟压力与规整化拟时间是现代气藏工程分析的核心, 是气藏渗流理论的灵魂。

关键词: 气体渗流, 线性化, 规整化拟压力, 规整化拟时间, 不稳定试井, 稳定试井, 产量不稳定分析, 弹性二相法, 流动物质平衡法

参考文献:

1. Earlougher Jr, RC, 1977. Advances in well test analysis, Monograph. Society of Petroleum Engineers of AIME, vol. 5. Millet the Printer, Dallas, TX.
2. Tarek Ahmed, Reservoir Engineering Handbook[M]. Elsevier, 2019.
3. Agarwal, Ram G., Al-Hussainy, Rafi, and H.J. Ramey. An investigation of

作者简介:孙贺东.E-mail: sunhed@petrochina.com.cn

- wellbore storage and skin effect in unsteady liquid flow: I. analytical treatment[J]. SPE J. 10 (1970): 279–290. doi: <https://doi.org/10.2118/2466-PA>
4. John P. Spivey, W. John Lee. Applied well test interpretation[M]. SPE. 2013.
 5. Gringarten, Alain C.. Interpretation of tests in fissured and multilayered reservoirs with double-porosity behavior: theory and practice[J]. J Pet Technol 36 (1984): 549–564. doi: <https://doi.org/10.2118/10044-PA>
 6. Slider HC. Worldwide Practical petroleum reservoir engineering methods[M]. Petroleum Publishing Co., Tulsa, OK, 1976.
 7. Tiab, Djebbar. Pressure transient analysis[M]. Elsevier. 2024.
 8. Christopher R. Clarkson. Unconventional reservoir rate-transient analysis[M]. Elsevier, 2021.
 9. 孙贺东. 实用试井简明手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2025.
 10. 庄惠农, 韩永新, 孙贺东, 等. 气藏动态描述和试井 (第三版). 北京: 石油工业出版社, 2021.

编号: NGGSF07042

柴达木盆地马仙地区致密砂岩气来源及成藏特征

田继先

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘 要: 长期以来, 柴达木盆地柴北缘天然气以源外基岩及新近系碎屑岩构造勘探为主, 2025 年在马仙地区钻探的路探 1 井在侏罗系获得高产工业气流, 开辟了柴达木盆地侏罗系源内气藏勘探新领域。为了明确马仙地区侏罗系致密气藏成藏特征及勘探潜力, 基于地质、地化及钻井等多种资料分析了马仙地区深层侏罗系天然气成藏特征, 提出了有利勘探方向。结果表明: (1) 马仙地区不同构造带油气来源差异明显, 马仙地区路探 1 井侏罗系天然气以甲烷为主, 来源于侏罗系煤系烃源岩, 天然气成熟度介于 1.1%~1.3%, 来源于附近凹陷 (图 1), 而非伊北凹陷主体部位; 南八仙气田来自于伊北凹陷, 而马北油气田来自于鱼卡凹陷。

(2) 马仙地区紧邻伊北生烃凹陷, 烃源岩厚度大, 生气能力强, 为侏罗系致密气藏的形成提供了充注动力; 侏罗系以扇三角洲沉积为主, 分流河道相砂岩厚度大, 长石含量高, 溶蚀孔发育, 溶蚀孔与微裂缝组成的网状孔隙结构为致密气的规模富集提供了储集空间; 马仙地区长期处于古隆起上, 是油气运聚指向区, 烃源岩生气期与圈闭形成期耦合关系好, 有利于致密气藏的规模富集。(3) 路探 1 井揭示中下侏罗系烃源岩具有早生烃、持续生烃特征, 包裹体分析表明有两期成藏, 在晚喜山期改造前已经富集。多期构造演化及持续生烃条件下, 马仙地区油气藏呈现出常规气-岩性气藏-致密气藏有序分布、连续成藏的特征 (图 2)。(4) 马仙地区稳定古斜坡和凹陷区边缘是有利勘探方向, 古斜坡区有利于侏罗系砂体的分布和储层的形成, 并且为油气长期运聚区, 有利于致密气藏的规模富集。凹陷区边缘紧邻生烃中心, 气源充足, 砂岩尖灭特征明显, 为油气的聚集提供了物质基础和储集空间。

关键词: 马仙地区; 侏罗系; 致密气藏; 天然气来源; 勘探潜力

作者简介: 田继先, 高级工程师, 中国石油勘探开发研究院从事天然气综合地质方面研究, 北京市海淀区学院路 22 号, 邮编: 100082, 邮箱: tjx69@PetroChina.com.cn。

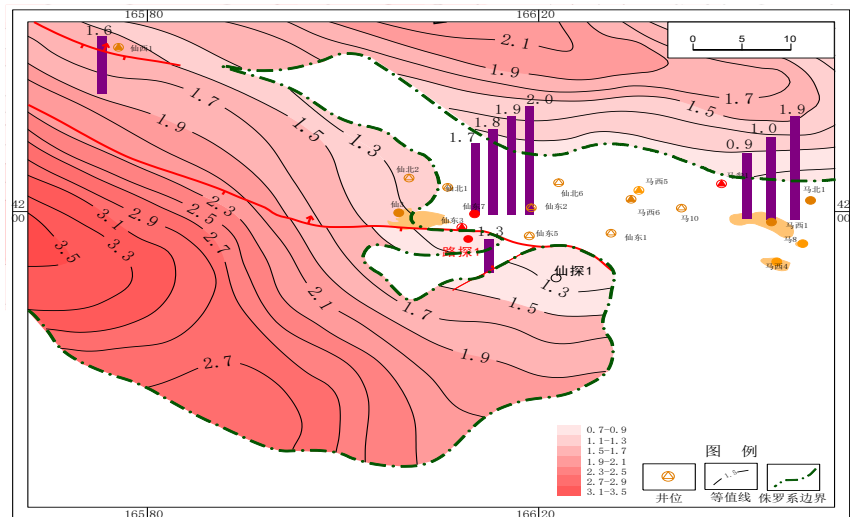


图 1 马仙地区侏罗系烃源岩成熟度与天然气计算成熟度对比图



图 2 马仙地区路乐河组-侏罗系成藏模式图

参考文献
魏国齐, 张福东, 李君, 等. 中国致密砂岩气成藏理论进展[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(2):199-210.
翟志伟, 张永庶, 杨红梅, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系有效烃源岩特征及油气聚集规律[J]. 天然气工业, 2013, 33(9):36-42.

编号: NGGSF07043

陆相淡水湖盆滨浅湖细粒沉积岩岩相类型 与储层差异——以川西坳陷三叠系须家河 组页岩层系为例

王冠平^{1,2,3}, 冯动军^{1,2,3}, 徐士林^{1,2,3}, 杨映涛⁴, 时志强⁵

1.页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室, 北京 102206; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 102206; 3. 中国石化页岩油气勘探开发重点实验室, 北京 102206; 4. 中国石化西南油气分公司, 四川 成都 610095; 5.成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059

摘 要:四川盆地西部三叠系须家河组陆相页岩气已展现出良好勘探潜力, 但目前业界对其岩相类型及储层特征的认识仍较为匮乏, 直接制约了下一步的高效勘探部署。本研究基于岩石学、矿物学、地球化学分析及孔隙结构测试等技术手段, 系统剖析了川西坳陷三叠系须家河组陆相页岩层系岩相类型与储层差异。结果表明: 1) 须家河组陆相页岩层系主要发育细砂岩、粉砂岩、中-低有机质长英黏土质页岩、中-低有机质黏土-长英混合质页岩、中-低有机质黏土长英质页岩、高-富有机质黏土-长英混合质页岩、高-富有机质长英黏土质页岩及高-富有机质黏土长英质页岩 8 类岩相。2) 页岩储集性优于粉细砂岩, 黏土质页岩的储集性优于混合质页岩和长英质页岩, 高-富有机质页岩类的储集性优于中-低有机质页岩类。3) 页岩含气性高于粉细砂岩, 页岩中高-富有机质页岩类比中-低有机质页岩类具有更高的含气量。粉细砂岩的可压性大于页岩, 其脆性矿物含量最高, 黏土长英质页岩和黏土-长英混合质页岩次之, 黏土质页岩最低。4) 建立了基于储集性、含气性及可压性的定量化陆相页岩气岩相优选方案, 优选高-富有机质长英黏土质页岩和高-富有机质黏土长英质页岩为须家河组陆相页岩层系的有利岩相。该研究对完善陆相页岩气勘探开发理论、指导四川盆地西部须家河组页岩气水平井的靶窗优选具有重要理论和实践意义。

关键词: 川西坳陷; 须家河组; 陆相页岩气; 岩相类型; 储层差异

作者简介:王冠平, 1993 年 2 月, 男, 博士, 副主任师, 页岩油气地质, 中国石化石油勘探开发研究院, E-mail: wangguanping.syky@sinopec.com

编号: NNGSF07044

柴达木盆地东坪气田氦气差异分布及富集控制因素与有利勘探方向

王晓波^{1,2,3,4}, 王晓梅^{1,2,3,4}, 李 剑^{1,2,3,4}, 徐朱松^{1,2,3,4}, 田继先^{1,2,3,4},
崔会英^{1,2,3,4}, 国建英^{1,2,3,4}, 夏雨田^{1,2,3,4}, 夏胡斌^{1,2,3,4}

1.中国石油集团科学技术研究院有限公司, 北京 100083; 2.中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院, 北京 100083; 3.中国石油天然气集团有限公司氦气和天然氢资源高效勘探与开发重点实验室, 北京 100083; 4.中国石油天然气集团有限公司天然气成藏与开发重点实验室, 河北 廊坊 065007)

摘 要: 东坪气田位于柴北缘阿尔金山南部山前东段隆起带的东坪鼻隆, 是国内陆上储量规模最大的基岩型气藏, 发现良好的富氦天然气显示。前人对柴达木盆地北缘地区的氦气成因、来源、富集成藏等开展了初步研究, 但对于东坪气田氦气平面及纵向分布特征、气田内富氦与贫氦气藏对比以及差异富集控制因素缺乏深入探讨, 对氦源的认识也以定性为主缺乏定量的深入研究。通过开展东坪气田东坪气田氦气分布特征、成因来源、差异富集控制因素研究, 明确了气田内部不同地区不同层系氦气差异分布特征及差异富集主控因素, 最后预测了柴北缘地区氦气勘探有利方向。主要成果认识如下: (1) 东坪气田不同区块氦气含量平面和纵向分布差异明显, 平面上存在氦气含量东坪 3>东坪 1>东坪 17 井区的特征, 纵向埋深上存在埋藏较浅的东坪 3 井区为富氦气藏、埋藏较深的东坪 1 井区和东坪 17 井区为相对低含氦气藏的特征, 纵向层系上存在临近基底的基岩含量高、向上逐渐降低的特征。(2) 东坪气田氦气属于典型的壳源成因, 主要来源于元古宇深变质岩、古生界浅变质岩及古生代花岗岩, 但不同类型基底岩石 U、Th 丰度和生氦强度不同, 花岗岩和花岗片麻岩 U、Th 丰度和生氦强度较高, 片岩、板岩和灰岩 U、Th 丰度和生氦强度较低。(3) 东坪气田不同地区不同层系氦气差异富集分布主要受氦源岩性差异、距基岩远近差异、构造位置差异、地下水活跃程度差异、天然气充注强度差异等因素控制。(4) 存在高 U、Th 含量的古老基底花岗岩和古构造叠合区有利于氦气运移富集, 阿尔金山前带的古隆起、斜坡

作者简介: 王晓波, 博士, 一级工程师/高级工程师, 主要从事氦气勘查评价与富集成藏理论与关键技术研究。通讯地址: 北京市海淀区学院路 20 号, 邮政编码: 100083, E-mail: wangxb69@petrochina.com.cn.

区构造是柴北缘地区氦气富集有利区，是未来氦气勘探发现的重要有利方向。研究成果为柴达木盆地氦气资源勘探开发提供了重要理论与勘探方向指导。

关键词：柴达木盆地；阿尔金山前带；东坪气田；差异分布；氦源；富集控制因素；有利勘探方向

参考文献

1. 周飞, 张永庶, 王彩霞, 等. 柴达木盆地东坪 - 牛东地区天然气地球化学特征及来源探讨[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(7): 1312-1323
2. LI Jian, WANG Xiaobo, XU Zhusong, et al. Helium resources accumulation regulations and their development prospects in China[J]. Journal of Natural Gas Geoscience, 2024, 9(5): 303 - 319
3. 徐朱松, 李剑, 王晓波, 等. 柴达木盆地东坪气田氦气来源及差异富集主控因素[J]. 煤田地质与勘探, 2025, 53(9): 1-12
4. 曹正林, 孙秀建, 汪立群, 等. 柴达木盆地阿尔金山前东坪 - 牛东斜坡带天然气成藏条件[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1125-1131
5. 田继先, 李剑, 曾旭, 等. 柴达木盆地东坪地区原油裂解气的发现及成藏模式[J]. 石油学报, 2020, 41(2): 154-162.

编号: NGGSF07045

超级盆地中的全能源系统资源分布特征——以鄂尔多斯盆地陇东地区为例

王晓梅^{1,2}, 李海锋³, 琚惠姣³, 马宝林⁴, 赵俊峰⁵

1.西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西西安 710065; 2.西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西西安 710065; 3.甘肃煤炭地质勘查院, 甘肃兰州 730000; 4.甘肃煤田地质局庆阳资源勘查院, 甘肃庆阳 745000; 5.大陆演化与早期生命全国重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西西安 710127

摘 要: 面对传统化石能源枯竭风险和全球气候环境需求, 我国新能源的地位日益突出。鄂尔多斯超级盆地中的陇东地区石油、天然气、煤、煤层气、砂岩型铀矿和岩盐等矿产资源丰富, 开展“全能源系统”研究可以为多种能源矿产立体式协同勘探和综合预测提供理论依据。

基于石油地质学、煤田地质学、铀矿和岩盐成矿地质学等多学科综合研究, 陇东地区“全能源系统”可划分为古生界全煤岩系统、T-J 系全油气系统、K1 铀-盐成矿系统和地上能源系统。各类矿产资源平面上呈“叠合式”分布, 垂向上呈“多层楼”格局。

陇东地区古生界全煤岩系统主要包括太原组和山西组的煤层和煤层气藏, 寒武系风化壳、太原组铝土岩和山西组山 1 段致密砂岩等近源聚集气藏, 油气藏在空间上构成了深层煤层气—致密天然气藏的有序组合。二叠系太原组和山西组含煤地层主要分布于环县—庆城一带, 具有深层、高热演化和煤薄层特征; 煤层气主要位于环县西部。寒武系碳酸盐风化壳有利储层主要分布于中央古隆起东侧张夏组和三山子组, 太原组铝土岩优质储层主要分布于岩溶下斜坡区古地貌, 二者在纵向上具有叠置关系。庆阳气田山西组山 1 段储层是以河控作用为主的海陆过渡三角洲沉积。

陇东地区 T-J 系全油气系统主要包括三叠系长 7 段页岩油、三叠系延长组致密油—常规油、侏罗系常规低渗透油、侏罗系煤层和煤层气等类型, 油气藏在空

第一作者: 王晓梅 (1975-), 女, 陕西绥德人, 博士研究生, 西安石油大学讲师, 石油地质综合研究与水文地质学等研究, E-mail: xiaomei_wang@xsyu.edu.cn

通讯作者: 赵俊峰 (1975-), 男, 山西晋中人, 博士研究生, 西北大学教授, 盆地分析与沉积学等研究, E-mail: zjf@nwu.edu.cn

间上构成了完整的非常规油藏—常规油藏—浅层煤层气的有序组合。T-J 系油藏主要烃源岩为长 7 段油页岩, 具有分布面积广、厚度大、有机质丰度高和成熟度适中特征。长 7 段页岩油以庆城大油田为代表, 源储一体无明显二次运移。侏罗系油藏主要受古地貌与河流相沉积双重控制, 三叠系延长组长 4+5、长 6 及长 8 段油藏主要分布在三角洲前缘及深水重力流砂体沉积体系。中侏罗统延安组煤层和煤层气主要分布在宁县—合水一带。

陇东地区 K1 铀—盐成矿系统包括下白垩统环河组与洛河组的铀矿、环河—华池组下段的岩盐。依据该区砂岩性铀矿的赋存规律, 推测镇原、环县地区的沉积朵体为铀矿勘查的有利选区。岩盐矿层主要分布在泾川县一带, 矿石 NaCl 含量 78%~85%, 镇原南部—泾川西部地区为岩盐矿床勘查的有利选区。

陇东地区地上能源系统包括风光电和人工智能。庆阳市风光电可开发量约 2220×10^4 kw, 同时是全国一体化算力网络八大枢纽节点和十大数据中心集群之一。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 陇东地区; 全能源系统; 全油气系统; 新能源

编号: NGGSF07046

松辽盆地南部深层火山岩储层多尺度孔缝结构、流体可动性及分类开发评价

王有容^{1,3,4}, 唐颖^{2,4,5}, 王瑞飞^{2,4,5}

1.西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安, 710065;

2.西安石油大学石油工程学院, 陕西 西安, 710065;

3.西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安, 710065;

4.西部低渗-特低渗油藏开发与治理教育部工程研究中心(西安石油大学), 陕西 西安, 710065;

5.陕西省油气田特种增产技术重点实验室, 陕西 西安, 710065

摘 要: 松辽盆地南部深层火山岩孔、洞、缝复合发育, 大孔细喉和孤立孔制约有效动用。以火石岭组 439 组孔渗资料为基础, 综合岩心薄片、压汞、离心核磁、微纳米 CT、QEMSCAN 及 SEM/FIB-SEM 资料, 表征多尺度储集空间、孔喉结构和流体可动性, 开展分类开发评价。岩性以流纹岩、安山岩、凝灰岩及火山角砾岩等为主, 储集空间包括原生孔隙、溶蚀孔洞和裂缝。QEMSCAN 与 SEM 表明, 长石含量为 31.64%~61.22%且长石溶孔发育, 黏土矿物和方解石局部充填, 反映溶蚀增孔与矿物充填减孔共同控制储集空间有效性。FIB-SEM 中裂缝面积占视域面积的 0.08%~0.98%, 部分低孔隙流纹岩中裂缝占孔缝总面积的 25.2%~31.0%, 表明微裂缝是改善低孔基质连通的重要结构因素。孔隙度为 2.30%~18.13%、平均 8.54%, 渗透率为 0.01~0.39 mD、平均 0.06 mD, 整体表现为低孔、特低渗。恒速压汞孔体、喉道半径分别为 123.18~130.16 μm 和 0.37~0.42 μm , 平均孔喉半径比达 299~310; 高压压汞中值喉道半径仅 0.012~0.018 μm 。微米 CT 孤立孔隙比例为 29.49%~61.22%, 纳米 CT 喉道半径为 0.020~0.849 μm 。多尺度实验表明, 原生孔隙和溶蚀孔洞提供储集空间, 微细喉道控流, 孤立孔降低有效性, 微裂缝改善连通, 构成孔洞储集、细喉控流、裂缝调节连通的复合储集体系。离心核磁测得可动流体饱和度为 16.48%~21.16%, 束缚流体饱和度为 78.84%~83.52%; 离心压力由 1.43 MPa 增至 2.87 MPa 后, 含水饱和度进一步降低 4.40~9.95 个百分点, 表明部分孔隙流体受较强毛管力束缚, 流体动用受有效

喉道和孔缝连通程度控制。结合孔参与产气响应及松辽盆地储层分级界限,将储层划分为三类:I类为孔洞—裂缝有效连通型,孔隙度大于12%、渗透率不低于0.25 mD,孔洞与裂缝配置较好,应优先部署并保护孔缝网络;II类为孔隙—细喉受限型,孔隙度为8%~12%、渗透率为0.05~0.25 mD,有孔体但受细喉和弱连通限制,应通过针对性改造沟通孔洞与裂缝;III类为微细孔喉弱连通型,孔隙度低于8%或渗透率低于0.05 mD,孤立孔及矿物充填发育,应优选裂缝发育段,与I、II类组合改造。火山岩气藏分类开发的核心是识别储集孔体与有效喉道、裂缝连通条件的匹配关系。

关键词: 松辽盆地; 深层火山岩; 孔缝结构; 孔喉配置; 流体可动性; 储层分类; 开发评价

主要参考文献

- [1] FENG Z Q. Volcanic rocks as prolific gas reservoir: A case study from the Qingshen gas field in the Songliao Basin, NE China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(4-5): 416-432.
- [2] WANG P J, CHEN S M. Cretaceous volcanic reservoirs and their exploration in the Songliao Basin, northeast China[J]. AAPG Bulletin, 2015, 99(3): 499-523.
- [3] FENG Z H, YIN C H, LIU J J, et al. Formation mechanism of in-situ volcanic reservoirs in eastern China: A case study from Xushen gasfield in Songliao Basin[J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(12): 2998-3014.
- [4] MAO Z G, ZHU R K, LUO J L, et al. Reservoir characteristics, formation mechanisms and petroleum exploration potential of volcanic rocks in China[J]. Petroleum Science, 2015, 12(1): 54-66.
- [5] JIANG F, CHENG R H, RUAN B T, et al. Formation mechanism of volcanic reservoirs within a volcanostratigraphic framework: The case of the Wangfu fault depression in the Songliao Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 84: 160-178.
- [6] TANG H F, ZHAO X Y, LIU X, et al. Filling characteristics, reservoir features and exploration significance of a volcanostratigraphic sequence in a half-graben basin: A case analysis of the Wangfu Rift Depression in Songliao Basin, NE China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 113: 104128.
- [7] 徐正顺, 王渝明, 庞彦明, 等. 大庆徐深气田火山岩气藏储集层识别与评价[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 521-531.
- [8] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 257-271.
- [9] 杨正明, 郭和坤, 姜汉桥, 等. 火山岩气藏不同岩性核磁共振实验研究[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 400-403.
- [10] 赵然磊, 王璞珺, 赵慧, 等. 火山地层界面的储层意义——以松辽盆地南部火石岭组为例[J]. 石油学报, 2016, 37(4): 454-463.

编号: NGGSF07047

鄂尔多斯盆地上古生界煤岩气三维地震勘探技术及效果

王正良, 和海雷, 伊鸿斌, 高 强, 曹跃辉, 刘科文, 郭 晴
中国石油东方物探公司长庆物探分公司, 陕西 西安 710012

摘 要: 研究区煤岩气资源丰富, 地表地形和表层结构复杂, 地下目标层生烃层储层薄且地震反射相互干扰严重, 地震勘探资料难得, 本文借鉴邻区勘探采集方法, 通过分析论证, 确定出小面元、小线距、宽方位观测、宽频激发, 高密度、高灵敏检波器接收等基本采集方法, 所获资料频带拓宽、信噪比高, 能实现地质目标, 支撑了该区煤岩气的发现和开发支撑。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 油气开发; 煤岩气; 两宽一高

编号: NNGSF07048

一种油气藏型储气库注采效果评价方法

魏 瑾

华北油田河北储气库分公司 河北 廊坊 065000

摘 要: 储气库注采运行具有高速往复大气量吞吐的特点,其运行效果评价对库容和产能的评估、注采运行方案及调整方案的编制、提高气库管理水平等方面具有重要意义。针对无量化评价储气库注采效果的现状,本文选取了达容率、达产率、库存动用率等指标,构建了储气库注采效果评价的三级指标体系。采用层次分析法确定关键指标对注采效果的影响权重,进而计算出各级指标值,最后根据注采效果等级划分表得出评价效果。实例证明,该方法能从计划完成效果、方案执行效果、地质体安全效果3方面针对性、系统地、量化评价储气库的注采效果并划分等级,经验证与该储气库实际注采运行状况一致,评价结果全面、准确,考虑了储气库注采双向,减少了评价的主观性和盲目性,且有助于不同储气库之间的横向对比,为气库下一步配产及调整指明方向。

关键词: 储气库; 注采效果; 评价指标; 层次分析法

Abstract: Gas storage injection and production operations feature high-speed reciprocating and large-volume throughput. Evaluating their operational effectiveness is crucial for assessing storage capacity and production potential, formulating injection-production plans and adjustment strategies, and improving gas storage management. Addressing the current scarcity of evaluation methods for gas storage injection-production effectiveness, this study selected indicators such as capacity utilization rate, production attainment rate, and inventory utilization rate to establish a three-tiered evaluation system for injection-production effectiveness. Using fuzzy mathematics and grey comprehensive evaluation methods, it analyzed the influence weights of key indicators on injection-production effectiveness, calculated hierarchical indicator values, and ultimately derived evaluation results based on the injection-production effectiveness classification table. Practical cases demonstrate that this method can systematically and quantitatively evaluate the injection-production effectiveness of gas storage facilities from three aspects—planned completion

作者简介: 魏瑾, E-mail: 578733619@qq.com

outcomes, operational execution results, and geological formation safety—while categorizing performance levels. Verified against actual injection-production operations, the evaluation results are comprehensive and accurate, accounting for bidirectional injection-production dynamics. This approach reduces subjective and arbitrary biases in assessments and facilitates horizontal comparisons among different gas storage facilities, thereby guiding future production allocation and operational adjustments..

Key words: gas storage; injection and production effectiveness; evaluation indicators; AHP

编号: NNGSF07049

川西南地区筇竹寺组页岩热-压耦合演化与页岩气保存条件定量评价

吴娟^{1,2}, 周志鹏¹, 蒋前前^{1,4}, 罗超³, 杨雨然³, 邓宾^{1,2}, 焦堃^{1,2}, 叶玥豪^{1,2}

1.成都理工大学能源学院(页岩气现代产业学院), 四川 成都 610059;

2.成都理工大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 四川 成都 610059;

3.中国石油西南油气田分公司页岩气研究院, 四川 成都 610051;

4.中国石油华北油田分公司, 河北 任丘 062552

摘要: 地层超压是页岩气富集与保存的核心指标, 其演化受有机质生烃与构造隆升的双重控制。四川盆地德阳—安岳裂陷槽中段及南段下寒武统筇竹寺组页岩气勘探已获重大突破, 但不同构造部位压力系数差异显著, 热-压耦合演化机制尚不明确。本文系统整合裂缝脉体岩相学、方解石/白云石 U-Pb 定年、流体包裹体显微测温与激光拉曼光谱、碳氧同位素及盆地数值模拟等多源数据, 重建了热-压耦合演化史。方解石/白云石 U-Pb 定年获得多组有效年龄, 识别出多期裂缝活动, 为热-压耦合演化史提供了绝对时间标定。碳氧同位素判识表明, 高角度剪性缝成脉流体以有机质脱羧作用为主, 反映开放体系特征。甲烷包裹体激光拉曼 ν_1 位移为 $2911.06\sim 2912.97\text{ cm}^{-1}$, 计算密度 $0.211\sim 0.296\text{ g/cm}^3$, 捕获压力 $54.1\sim 116.0\text{ MPa}$ 。盆地模拟揭示压力系数经历了常压—增压—差异释压三阶段演化, 威远核部降幅 47%, 裂陷槽内仅降 5%, 南段长宁地区因晚白垩世以来强烈抬升剥蚀 ($>4500\text{ m}$) 泄压至常压。建立了“压力系数保持率”定量指标, 将研究区划分为三类: I类保持率大于 90%, 分布于裂陷槽内及磨溪地区; II类保持率介于 60%与 90%之间, 分布于威远南斜坡及宁西地区; III类保持率小于 60%, 分布于威远核部及长宁背斜核部。该评价方法可为筇竹寺组页岩气有利区优选提供定量依据。

关键词: 筇竹寺组; 热-压耦合; 方解石 U-Pb 定年; 流体包裹体; 盆地模拟; 保存条件

基金项目: 四川省自然科学基金面上项目 (2025ZNSFSC0310); 国家自然科学基金项目 (42372174)。

作者简介: 吴娟 (1985-), 女, 副教授, 主要从事油气成藏过程与机理、非常规油气地质、储层流体包裹体等方面的研究。Email: wujuan16@cdut.edu.cn

编号: NGGSF07050

塔里木盆地满加尔凹陷西侧氦气来源及成藏主控因素

吴小奇¹, 陶 成¹, 王 萍¹, 邱 岐¹, 贾存善¹, 朱东亚², 韩 强³, 何 港³

1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所 江苏 无锡 214126

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院油气勘探所 江苏 无锡 214126

3. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要: 氦气是一种具有特殊物理化学性质的稀有气体, 在国防和高科技等产业中具有独特的作用而成为重要的战略性稀缺资源。从含氦天然气中提取氦是目前工业制氦的唯一途径, 但我国天然气中氦丰度普遍较低, 使得氦的对外依存度长期居高不下, 氦气供应链的安全稳定面临极大挑战, 因此寻找氦气资源是中国天然气工业发展的紧要任务之一。塔里木盆地是我国重要的产气盆地之一, 已发现了我国首个特大型富氦气田和田河。满加尔凹陷西侧近年来油气勘探取得了重大突破, 先后发现了塔河、顺北、富满等多个大油气田。目前对满加尔凹陷西侧天然气中氦气成因、来源及成藏主控因素的研究较为薄弱, 这制约了对该区氦气资源前景的认识。

研究表明, 满加尔凹陷西侧天然气主体为中氦特征($0.03\% \leq \text{He}\% < 0.1\%$), 顺北、塔河、雅克拉天然气中 He 含量平均分别为 0.046%、0.044%、0.057%; 纵向上不同层系氦气含量没有明显差异, 未表现出随层位变老而含量增加的趋势, 壳源 He 的积累效应不明显。除雅克拉气田天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值主体为 10^{-7} 量级、 R/R_a 介于 0.1~0.2 外, 顺北、塔河等地区天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值主体均为 10^{-8} 量级、 $R/R_a < 0.05$, 且 He 含量与 R/R_a 值没有显著相关性。顺北、塔河等地区不同层系天然气的 R/R_a 值主体表现出典型壳源成因, 雅克拉气田、雅东 1 井天然气样品表现出以壳源成因为主、少量幔源混入的特征。下寒武统玉尔吐斯组中下部泥岩具有明显的高伽马特征, U、Th 元素含量较高。环满加尔西侧天然气中的氦主要来自基底岩石和玉尔吐斯组烃源岩中 U、Th 的

基金项目: 深地国家科技重大专项 (2025ZD1010506) 和国家自然科学基金 (U2244209)

作者简介: 吴小奇, E-mail: xqw@163.com

放射性衰变，氦气藏为壳源同源+异源复合型。

氦气的成藏主要受深大断裂发育、天然气充注强度、差异埋藏/抬升背景下地层水脱溶作用等因素控制。深大断裂是沟通氦源岩和储层的有利通道，塔里木盆地氦含量相对较高的气田往往发育连通基底的深大断裂，为花岗岩等古老基底岩石和玉尔吐斯组烃源岩生成的 He 向上运移提供了有利通道。规模性天然气充注会稀释气藏中 He 含量，如顺北地区 He 含量随生气强度增大而降低。塔河与雅克拉气田天然气中 He 含量与 N₂ 含量呈正相关，表明 N₂ 对 He 的富集有促进作用，地层水的溶解与脱溶作用可能是 He 与 N₂ 耦合成藏的主要原因。顺北、塔河等典型油气田天然气中 He 含量与地层水矿化度呈负相关，矿化度越高，越不利于氦气的溶解与脱溶。地层抬升越大，越有利于气藏中 He 的脱溶与成藏。

关键词：深部热流体；氦气；成因来源；运移聚集机制；莺歌海盆地

参考文献：

陈践发, 刘凯旋, 董勍伟, 等. 天然气中氦资源研究现状及我国氦资源前景[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(10): 1436-1449.

刘全有. 天然气中氦气资源富集机理与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2025, 1-170

刘全有, 魏永波, 朱东亚, 等. 沉积盆地稀贵气体形成与富集机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2025, 55(10): 3401-3420.

李朋朋, 刘全有, 朱东亚, 等. 含油气盆地氦气分布特征与成藏机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2024, 54(10): 3195-3218.

Liu Q, Li P, Zhu D, et al. Helium resource in the petroliferous basins in China and its development prospects[J]. Cell Reports Physical Science, 2024, 5: 102031.

Wang X, Liu Q, Liu W, et al. Helium accumulation in natural gas systems in Chinese sedimentary basins[J]. Marine and Petroleum Geology, 2023, 150: 106155.

编号: NGGSF07051

深层海相地层热演化史恢复方法及其控藏作用——以川中灯影组为例

肖 晖^{1,2}, 张星仪^{1,2}, 季帅良^{1,2}, 邹鑫杰^{1,2}

1.西安石油大学地球科学与工程学院; 陕西 西安 710065;

2.油气成藏地质学陕西省重点实验室; 陕西 西安 710065

摘 要:四川盆地是我国中西部深层海相天然气勘探开发的重点区域,川中古隆起震旦系灯影组作为深层-超深层碳酸盐岩油气富集的典型层位,其形成年代古老、储层后期改造复杂,热演化历史恢复难度较大。这些因素使得四川盆地深层-超深层碳酸盐岩热史恢复一直是热演化史研究的难点和热点领域。

研究以川中古隆起灯影组为研究对象,基于区域地质资料、现有钻井数据及地温测试成果,在现今地温场分析基础上,采用地球动力学模型正演与镜质体反等效镜质体反射率等古温标反演相结合的方法,重建灯影组自震旦纪以来的热演化历史,并在恢复的热史基础上,以碳酸盐岩团簇同位素模拟成果为约束,验证热史恢复结果的有效性。最后,依据埋藏史、热史及烃源岩成熟演化特征,并结合烃包裹体岩相学及不同期次荧光特征,揭示研究区灯影组热演化史与研究区生烃史、油气成藏的关系。

研究表明:(1)震旦纪以来该区热流演化可划分为三个阶段:震旦纪-早二叠世稳定低热流阶段($54\sim 60\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$)、早二叠世-早三叠世快速攀升至峰值阶段($80\sim 100\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$)及三叠世-现今缓慢回落并趋于稳定阶段($55\sim 65\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$);(2)灯影组温度演化则呈现早古生代缓慢升温、早泥盆世-早二叠世降温、早二叠世-晚白垩世快速升温、晚白垩世-现今降温四段式特征;成熟度显示出低成熟生油阶段(加里东期)、成熟早期-晚期生油阶段(海西-印支期)、高-过成熟生气阶段(燕山期-喜马拉雅期)三阶段变化;(4)川中古隆起油气成藏经历四期关键阶段:中志留世-中泥盆世为低成熟原油充注阶段,古油藏形成后受构造运动影响发生破坏,生烃作用终止;三叠世-早侏罗世为成熟原油大规模充注阶段,形成大规模早期古油藏;侏罗世-早白垩世为油气充注与相态转化阶段,原油发生裂解形成古气藏;晚白垩世-现今区域热演化基本停滞,古气藏在构造运动作用下调整定型,最终形成现今天然气藏分布格局。

关键词:热演化史恢复;古温标;地球动力学;灯影组;川中古隆起

编号: NGGSF07052

页岩水化致裂带来的思考与启示

熊 健, 刘向君, 丁 乙

西南石油大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 四川 成都 610500

摘 要: 水基钻井液是页岩水平井钻井低成本、绿色的必然选择; 但页岩层理与微裂缝发育、黏土含量高、毛管自吸作用强, 液相进入及水化致裂在热力学上自发、难以完全阻断, 是井壁失稳的核心诱因。本文聚焦液相作用下页岩的微观结构变化: 随浸泡时间延长与压力升高, 原生裂缝不断扩展、延伸并加深, 由孤立走向相互连通, 局部出现掉块, 并诱发大量新生微小裂缝, 最终形成更为复杂的裂隙网络; 孔裂隙数量显著增加, 颗粒间接触与黏结不断弱化, 岩石结构完整性持续降低。插层抑制、微纳米封堵与成膜封堵等现有技术均立足于“减少液相进入、抑制黏土水化”, 只能延缓而无法根除损伤; 其根源在于水化致裂的实质是液相作用下颗粒间接触与黏结(即颗粒间胶结)的弱化, 现有调控未触及“进水后胶结劣化”这一根本。据此提出因势利导、主动强化胶结的新思路: 利用页岩表面 Si—OH、Al—OH 等活性位点, 使处理剂随液相在颗粒与裂缝面发生化学胶结, 将“被动防控水化损伤”转变为“主动强化井周结构”。分子模拟表明, 羧酸根、硅羟基、羟肟基等官能团可分别与石英、方解石、伊利石形成稳定键合, 证实其化学可行性; 实验结果显示, 胶结可充填、桥接孔裂隙并提升井周结构完整性与力学强度, 为页岩井壁稳定提供了新途径与启示。

编号: NGGSF07053

超深层原油热裂解气生成机制研究

许 锦

中国石化无锡石油地质研究所 江苏 无锡 214126

摘 要: 超深层油气藏中原油与天然气常呈共存状态, 裂解气的生成受到多种因素影响。本文基于 ReaxFF 反应力场分子动力学方法, 构建正十七烷及正十七烷—沥青质混合模型, 重点研究不同温压条件和原油组分对裂解气生成速率及产物组成的影响。结果表明, 温度是控制裂解气生成的主导因素。随反应温度增高, 小分子气体快速增加, 发生二次裂解比例越高。压力影响具有两重性, 10 MPa 附近有利于气体生成, 而 100 MPa 高压会降低乙烯、乙炔产率, 促进乙烷和氢气形成。沥青质含量增加可明显提高早期反应速率, 并使乙烯产率提高约 50%。研究结果可为超深层天然气成因判识和气体产率预测提供依据。

关键词: 超深层油气; 热裂解气; 温度; 压力; 沥青质; 分子动力学

1 引言

随着油气勘探向深层和超深层发展, 顺北、富满等油气田在高温储层中表现出油气同产特征, 说明高温条件下原油能够持续发生阶段性热转化并生成气体。传统热模拟实验难以捕捉原油向气转化过程中的化学键断裂路径, 分子动力学模拟则可从微观尺度揭示气体产物的形成机制。

2 研究方法

采用 ReaxFF 反应力场建立正十七烷模型, 设置 2000~3000 K 和 0.1~100 MPa 温压条件开展热反应模拟, 统计反应物消耗、气体分子数量及主要产物变化。同时构建沥青质质量分数为 0%、22%和 53%的混合模型, 在 2600 K、1 MPa 条件下分析原油组成对裂解气生成的影响。

3 结果与讨论

温度升高显著缩短裂解气生成的诱导期。2000 K 时, 体系反应缓慢, 主要保留 C₆以上长链分子; 2200 K 时, 长链分子开始快速断裂, C₁~C₅小分子增加; 2400~2600 K 时, 正十七烷快速转化, 乙烯、丙烯和氢气成为主要气体产物; 超过 2800 K 后, 初级产物进一步脱氢和二次裂解。压力对气体组成具有调节作用。小于 1 MPa 体系主要生成乙烯和少量氢气、乙炔; 压力升至 10 MPa 时, 分子碰

撞和传质效率提高, 乙烯、氢气产率增加约 25%~100%以上, 表明适度压力有利于生气。压力达到 100 MPa 后, 正十七烷完全转化时间延长, 乙烯和乙炔产率分别下降约 29.9%和 37.5%, 而乙烷和氢气含量增加, 说明高压会抑制部分裂解路径。原油组成影响裂解气生成。沥青质含量由 0%增加至 53%时, 正十七烷早期裂解速率明显提高, 最高约为纯正十七烷体系的 8 倍; 乙烯产率提高约 50%, C_2 类气体增加, 而 C_3 ~ C_4 类产物减少。因此推测沥青质虽然不是乙烯的主要来源, 但可促进自由基生成和氢转移, 从而促进生气反应发生。

4 结论

总体上, 超深层裂解气生成表现为“温度主导、压力调节、组分强化”的耦合机制。温度主导裂解气生成的速率; 压力通过调节分子碰撞改变气体组成, 适度压力有利于生气, 高压则抑制气体生成; 沥青质能够强化自由基反应, 促进乙烯、氢气等小分子气体生成。

编号: NGGSF07054

龙深气田营二段气藏富集主控因素研究

杨旭东, 张 欣, 董常春

中国石油吉林油田公司勘探开发研究院 吉林 松原 138000

摘 要: 针对致密砂岩气富集主控因素不清等关键问题, 以松辽盆地龙深气田龙深3区块白垩纪营城组营二段为研究对象, 综合地震、钻井、测井资料, 研究了气藏特征, 结合研究区东西双向物源, 明确龙深3区块为扇三角洲相及湖泊相沉积, 以沉积相带为约束, 结合岩心相层理特征判断水动力强度, 分析了断裂、储层、地层厚度和烃源岩条件对致密储层的影响。研究表明: 研究区营二段沉积相为扇三角洲相和湖泊相, 断裂体系起到改善储层和疏导天然气的作用, 气藏类型为致密岩性气藏。

关键词: 致密气; 营二段; 龙深气田; 松辽盆地

作者简介: 杨旭东, 男, 1997年出生, 2024年毕业于西安石油大学地质工程专业, 现从事天然气开发研究工作, 助理工程师。E-mail: 3263291587@qq.com

编号: NGGSF07055

基于 BO-LightGBM-SHAP 算法的致密砂岩 储层孔隙度定量评价——以鄂尔多斯盆地 吴起地区三叠系延长组长 6 段为例

张凤奇^{1,2}, 马 聪^{1,2}, 高建荣³, 孙文娜⁴, 付启凡^{1,2}, 周杰平^{1,2},
仇瀚轩^{1,2}

(1.西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

2.陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065;

3.中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

4.山东能源集团有限公司兖矿国宏化工有限公司, 山东 济宁 273500)

中国石油集团科学技术研究院, 北京 100083

摘 要: 针对常规测井解释方法对强非均质性致密砂岩储层孔隙度预测精度较低, 而现有机器学习方法预测性能和地质可解释性仍有待提升的问题, 以鄂尔多斯盆地吴起地区延长组长 6 段致密砂岩为例, 选取 6 口训练井、2 口盲井的常规测井数据和目的层储层孔隙度数据, 利用皮尔逊、斯皮尔曼、肯德尔相关分析综合评价测井参数与孔隙度之间的相关性, 以三者绝对值的平均值作为综合相关度, 依据该参数排序筛选模型输入特征; 采用 LightGBM 建立孔隙度预测模型, 并利用贝叶斯优化算法对关键超参数进行全局寻优, 建立预测精度更高和未知井泛化能力更强的孔隙度预测模型; 最后引入 SHAP 算法来量化分析上述因素的控制程度。结果表明, 优选出致密砂岩孔隙度密切关联的 6 个特征参数分别为声波时差 (AC)、密度 (DEN)、补偿中子 (CNL)、深侧向电阻率 (RT)、自然伽马 (GR)、深感应电导率 (CILD), 构建的 BO-LightGBM 模型在 2 口独立盲井测试数据中计算得到的决定系数 R^2 可达到 98%, 其均方根误差 RMSE 和平均绝对误差 MAE 分别为 0.248、0.148, 与传统线性回归、传统有监督机器学习模型 (RF、SVM、

基金项目: 国家科技重大专项项目 (编号: 2025ZD1400206); 陕西高校青年创新团队联合资助。

第一作者: 张凤奇 (1981-), 男, 河南周口人, 博士, 西安石油大学教授, 主要从事油气形成机制与油气成藏动力学研究, Email: zhangfq@xsyu.edu.cn

通信作者: 马聪 (2002-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事油气成藏地质学研究, Email: mc2002@foxmail.com

XGBoost、LightGBM、GAPSO-LightGBM) 相比, R^2 分别提升了 14.9%、14.1%、47.7%、11.3%、7.8%、4.5%, 且其 RMSE 和 MAE 均较低, 声波时差 (AC) 与密度测井 (DEN) 是致密砂岩储层孔隙度预测模型的主控因素。该方法为致密砂岩储层孔隙度预测提供了一种高效、可解释性强的新思路。

关键词: LightGBM; 机器学习; 致密砂岩; 孔隙度; 鄂尔多斯盆地

编号: NNGSF07056

岩相古地理新认识研究驱动四川盆地茅口组规模勘探领域拓展

张建勇, 付小东, 郝毅, 朱可丹

中国石油杭州地质研究院 浙江 杭州 310023

摘要: 茅口组是四川盆地二叠系天然气勘探的重要层系,“十四五”资评结果显示其剩余天然气资源量约 $3.68 \times 10^{12} \text{m}^3$, 勘探潜力巨大。迄今为止, 茅口组勘探主要经历了灰岩裂缝型储层勘探、热液白云岩储层探索、相控层状白云岩储层突破几个阶段。纵观其近七十年勘探历程, 本质上是地质认识不断加深、沉积储层研究不断精细化的过程: 早期以构造高部位岩溶缝洞型气藏为目标, 长期面临“有点无面”的勘探困局; 2011-2017 年, 随着热次盆控储等地质认识的提出, 以热液成因白云岩认识指导, 沿 15#基底断裂部署多口探井, 南充 1 井和磨溪 39 井获得点上突破, 但同样面上无规模; 2018 年以来, 以相控白云岩认识指导, 合深 4、角探 1 井茅二段滩相白云岩相继获得重大突破, 川中茅二段集中勘探成效, 成为盆地天然气勘探增储上产的主力军。以岩相古地理新认识为核心的沉积储层精细研究驱动, 实现了从“构造找气”向“相带控储、储层控藏”的范式转变。综合茅口组内部层序地层划分、落实岩相证据与古地貌恢复, 重建了茅口组各期岩相古地理, 提出茅口组沉积期并非传统认为的均一碳酸盐台地, 而是发育受川中古隆起和早期拉张裂陷共同控制的沉积格局: 茅二段下亚段, 川中古隆起控制台内隆起带, 高能滩相白云岩大面积连片分布, 而川东宣汉-万州地区受古地貌高带控制, 发育茅二下早期高能浅滩; 茅二段上亚段-茅三段, 拉张裂陷控制台缘带, 发育台缘滩相白云岩及热液白云岩; 茅三段开江-梁平海槽的雏形进一步发展, 海槽内发育孤峰段富有机质的硅质灰岩、硅质页岩。川中-川北茅口组的云化滩带自下而上表现出自西向东规律迁移的特征。上述岩相古地理新认识直接推动了勘探领域的实质性拓展: 川中龙女寺区块茅口组提交探明储量超 $460 \times 10^8 \text{m}^3$, 成为该层系首个大型整装气藏; 川中地区累计探明储量近 $4200 \times 10^8 \text{m}^3$, 成为继安岳气田之后的第二大规模高效常规气区; 川东地区天东

作者简介: 张建勇, 博士, 正高级工程师, 主要从事油气地质和碳酸盐岩研究。E-mail: zhangjy_hz@petrochina.com.cn

017-H8 井上试获气 $10.4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 证实宣汉-万州地区茅二早期沉积期地貌高带, 有利面积可达 6500km^2 , 部署风险探井雅探 1H; 岗探 1 井于茅三段钻遇白云岩与含云灰岩储层累计约 30m, 测试获气 $8.23 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 评价拓展茅三段有利面积约 1130km^2 ; 营探 1 井、凤探 1 井钻揭高有机质丰度一类页岩气储层, 综合评价川北地区存在孤峰段硅质页岩有利勘探区带超 11000km^2 。上述勘探实践表明, 沉积储层精细化研究是茅口组从“零星缝洞”走向“规模岩性气藏”的关键桥梁, 其方法论对四川盆地深层海相碳酸盐岩的领域拓展具有重要借鉴意义。

关键词: 四川盆地; 茅口组; 沉积储层精细研究; 滩相白云岩; 岩相古地理; 大型岩性气藏; 勘探领域拓展

编号: NGGSF07057

基于变密度测井分形维数与机器学习的陆相页岩岩相组合井-震识别方法

张立强, 黄宇鑫, 严一鸣, 冯 琛, 卢延俊

中国石油大学(华东)地球科学与技术学院 山东 青岛 266580

摘 要:我国陆相页岩油勘探前景广阔,岩相类型对页岩油甜点分布及预测起重要影响及控制作用,其空间分布是页岩油勘探中的难点问题。本文以东营凹陷沙四上亚段页岩作为研究对象,针对页岩岩相多尺度识别及平面预测等关键问题,采用地质-测井-地震-机器学习多学科融合方法,开展岩相组合预测及展布特征研究。

基于岩心观察、矿物组分分析和有机地球化学测试,构建了基于“有机质丰度、沉积构造、矿物组成”三要素的页岩岩相分类方案,明确了典型页岩岩相类型及其纵向分布规律。论文提出了测井曲线形态-分形维数联合分析方法,建立了测井尺度岩相组合划分标准。通过随机森林、神经网络与 XGBoost 等机器学习算法,建立了融合测井曲线形态特征参数与常规测井参数的智能识别模型,实现了岩相组合的单井识别。基于地震正演模拟,明确现有地震资料约束下的岩相组合划分尺度,依据测井尺度岩相组合间的叠置关系,总结出 8 种地震尺度可识别的岩相组合类型。通过地震属性与岩相组合的单因素相关性分析,结合最大相关性—最小冗余性算法(mRMR)优选关键地震属性,建立了页岩岩相组合平面展布模型。研究表明,岩相组合的多尺度划分方法能够有效解决勘探阶段地质、测井及地震资料间分辨率差异问题。地震属性与岩相组合的非均质性特征、厚度特征以及矿物组成特征之间均具有统计学意义上的相关性,岩相组合的研究模式解决了单一岩相识别困难的问题,有效解决了勘探资料分辨率差异难题,实现了页岩岩相组合的高精度识别,为页岩油岩相组合及甜点预测提供了新的技术思路。

关键词:页岩岩相组合;分形维数;空间展布;地震预测

编号: NGGSF07058

岩石中氢气扩散机制及控制因素

张盼盼

中国地质大学(北京) 北京 100083

摘 要:天然氢具有可再生、零污染、低开采成本等优势,正逐渐成为全球清洁能源发展中的战略前沿。氢分子尺寸小、质量轻,使其在沉积岩中的扩散能力显著增强,因此具有独特的运移与聚集方式。本研究选取沉积盆地中的砂岩、泥岩和盐岩为研究对象,开展原位测量的高温高压氢气扩散实验。基于改进的等压法模型,我们测定了在 25~80 °C 和 3~10 MPa 条件下砂岩、泥岩和盐岩的氢扩散系数,分别为 $(1.42\sim5.41)\times10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $(1.50\sim4.98)\times10^{-10}\text{ m}^2/\text{s}$ 和 $(1.62\sim4.81)\times10^{-11}\text{ m}^2/\text{s}$ 。在系统实验的基础上,本研究探讨了孔隙结构、温度和压力对氢扩散的控制作用。孔隙结构的差异导致扩散机制发生变化,而低温和高压均会使氢扩散减弱。综合耦合多种因素,我们建立了氢扩散的数学模型,并利用实验结果对其进行了校正。模拟结果表明,压力对氢扩散的影响强于温度,这意味着沉积岩中的氢扩散从深层到浅层逐渐增强。因此,氢扩散是浅层地层中不可忽视的运移通道,而深层地质构造则为天然氢的保存提供了有利条件。本研究深化了对氢扩散的理论认识,为沉积盆地中天然氢的扩散运移与保存研究提供了重要基础。

编号: NGGSF07059

古地理控制下的陆架尺度氧化还原非均质性与古海洋演化——以上扬子地区早寒武世黑色页岩为例

张天怡^{1,2}, 黄士鹏², 刘全有³, 李贤庆⁴, 罗情勇¹, 姜 华², 江青春², 周 刚⁵, 郭楚媛⁵

1.中国石油大学(北京), 北京, 102249; 2.中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083;
3.北京大学, 北京, 100871; 4.中国矿业大学(北京), 北京, 100083; 5.中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川 成都, 610041

摘 要: 早寒武世黑色页岩记录了地球系统演化关键时期海洋环流、氧化还原结构及生物地球化学循环的深刻重组。然而, 古地理对陆表海陆棚体系中这些环境变化的调控程度仍缺乏充分约束。本研究基于德阳—安岳裂陷槽北段 JT1 井 73 件样品新获得的总有机碳 (TOC)、主量元素、微量元素和稀土元素数据, 结合已发表的代表性内、外陆棚地层记录, 探讨上扬子陆棚早寒武世海洋环境的时空演化。化学蚀变指数 (CIA) 和 Ti/Al 比值表明, 气候总体凉爽、半干旱, 化学风化较弱, 下段 (LM) 沉积期间相对更为湿润。氧化还原敏感指标揭示了显著的陆棚尺度分异: 内陆棚以贫氧至缺氧条件为主, 外陆棚则表现出明显更强的 Mo 富集和更持久的硫化状态。Mo-U 协变关系及 $MnEF \times CoEF$ 值进一步表明, 内陆棚水体交换受到中等程度限制, 外陆棚则具有更开放的环流和更强的上升流影响。JT1 井的 Eu 正异常和低 Sc/Cr 比值还指示德阳—安岳裂陷槽北段存在局部热液输入。这些结果表明, 古地理通过调节水体交换、营养盐和硫酸盐输送以及还原性水体的空间分布, 对早寒武世海洋环境结构发挥了主导控制作用。下段沉积期间, 相对较高的海平面、较强的营养盐供给、热液输入及强烈的外陆棚上升流, 促进了广泛缺氧和局部持续硫化环境的形成。上段 (UM) 沉积期间, 化学风化和上升流减弱、相对海平面下降, 陆棚水体逐步氧化, 导致硫化环境范围收缩。中等程度受限的内陆棚与连通性更高、受上升流影响更强的外陆棚之间的差异, 体现了早寒武世上扬子海显著的环境分区。这种陆棚尺度的氧化还原分异, 为认识早寒武世生物与地球系统重大重组时期的海洋环境不稳定性及生态适生

通信作者: 张天怡. E-mail: tianyizhang1999@126.com

性提供了重要的区域约束。

关键词：早寒武世；上扬子陆棚；黑色页岩；氧化还原分异；海洋环流；古地理

编号: NGGSF07060

鄂尔多斯盆地延安东部山西组一本溪组煤 泥岩协同生烃特征及勘探启示

张怡诺, 赵谦平, 史 鹏, 祁攀文

延长石油(集团)天然气研究院, 陕西 西安 710075

摘 要: 鄂尔多斯盆地上古生界海陆过渡相煤系页岩气资源潜力巨大。为厘清延安东部山西组下段 本溪组上段煤 泥岩协同生烃机制与生烃潜力, 服务于研究区页岩气、煤层气协同勘探, 综合利用岩心观测、测井解释、有机—无机地球化学实验手段开展烃源岩空间展布、有机质生源属性及古沉积环境系统研究, 建立煤岩、泥岩测井识别标准, 借助有机质显微组分、总有机碳、干酪根碳同位素、主微量元素等测试数据, 对比剖析山西组与本溪组两套烃源岩的有机质组成、生烃潜力差异及沉积环境演化规律。

结果表明: 山西组山 1、山 2 段有机质显微组分以腐泥无定形体与镜质体为主体; 本溪组腐泥组、惰质组占比更高, 部分样品镜质组含量可达 80%以上, 整体氧化程度明显高于山西组。山西组煤系烃源岩有机质丰度整体达到好 优质烃源岩级别, 干酪根以II₂、III型为主, 具有典型煤系烃源岩地化属性, 其中山 2 段生烃潜力显著优于山 1 段。 Sr/Ba 、 $V/(V+Ni)$ 、 Sr/Cu 及 CIA 等地球化学参数证实, 山西组整体属于淡水沉积体系, 自山 1 段向山 2 段水体盐度逐步降低; 山 1 段水体氧化 还原条件复杂多变, 山 2 段整体处于弱还原 相对氧化环境; 物源来自被动大陆边缘, 古气候整体湿热并伴随干湿分异, 物源区强烈的化学风化作用带来大量陆源有机质输入, 是控制烃源岩有机质富集的关键因素。

本次研究明确了目标层位烃源岩地化特征、古沉积环境及其对有机质富集的控制作用, 同时结合山 2 段优越的生烃物质基础、沉积保存条件, 印证了其良好的页岩气勘探潜力, 可为延安东部地区煤系非常规油气勘探评价提供地质依据, 后续将重点攻关煤 泥岩协同生烃内在耦合关系, 完善烃源岩生烃潜力定量评价体系。

关键词: 延安东部地区; 山西组; 本溪组; 地球化学特征; 烃源评价

编号: NGGSF07061

陆相坳陷湖盆深水重力流沉积体系、演化规律及勘探意义

赵卫卫^{1,2}, 徐茂霖^{1,2}, 顾智宁^{1,2}, 李灵光^{1,2}, 邹鑫^{1,2}, 陈佳硕^{1,2},
沈宝辉^{1,2}, 王剑南^{1,2}

1. 西安石油大学地球科学与工程学院; 陕西 西安 710065

2. 油气成藏地质学陕西省重点实验室; 陕西 西安 710065

摘 要:【目的】深水重力流沉积是陆相坳陷湖盆深湖区核心沉积类型与重要油气储集体, 其沉积体系特征、成因机制与时空演化规律对深水岩性油气藏及页岩油勘探具有关键指导意义。【方法】本文以鄂尔多斯盆地延长组长 7 段为研究实例, 整合盆地内多区块钻井与实验资料, 系统开展深水重力流沉积学研究。研究基于数十口井厘米级精细岩心观察、百余口井测井资料及粒度测试数据, 从宏微观尺度识别重力流沉积类型, 剖析三元控沉机制, 刻画砂体时空展布特征, 建立沉积演化模式, 并评价其储集性能与油气勘探潜力。【结果】①陆相湖盆深水区可发育砂质碎屑流、浊流、滑塌变形及异重流四类重力流沉积, 各类沉积体的沉积特征与发育环境差异显著。砂质碎屑流以厚层块状砂岩及“泥包砾”结构为典型识别标志, 多分布于半深湖—深湖斜坡带; 浊流沉积发育粒序层理与不完整鲍马序列, 主要集中于湖盆中心部位; 滑塌变形沉积多见于三角洲前缘斜坡地带, 以砂泥混杂及软沉积变形构造为核心特征; 异重流沉积具有下逆粒序与上正粒序成对出现的沉积序列, 显著区别于经典鲍马序列。②陆相湖盆重力流沉积受物源供给、湖盆底形与触发机制三元耦合控制。多方向物源体系为重力流发育提供充足物质基础, 盆地古地形坡降与季节性洪水事件共同构成重力流的主要触发机制。③长 7₃至长 7₁沉积期, 伴随湖盆“湖泛鼎盛—湖退过渡—物源鼎盛”的沉积演化序列, 重力流发育规模整体呈逐步扩大趋势。其中砂质碎屑流与浊流沉积范围持续扩张, 异重流沉积分布逐步萎缩, 垂向上发育多期砂体叠置、不同类型重力流

基金项目: 国家重大专项“陆相页岩储气机理与储层精细描述研究”(编号: 2017ZX05039-001-002)资助

本文作者: 赵卫卫, 男, 1976 年生, 博士, 副教授, 地质资源与地质工程专业。本文通讯作者。E-mail: zhaoww@xsyu.edu.cn。

通讯作者: 徐茂霖, 男, 2002 年生, 硕士研究生, 地质学专业。E-mail: 2328061471@qq.com

转化复合等多种沉积组合样式。④不同类型重力流砂体的储集性能差异明显，砂质碎屑流水道砂体为最优质的勘探目标，浊流砂体储集性能次之，异重流近端分支水道砂体具备一定勘探潜力。【结论】本研究系统揭示了陆相拗陷湖盆深水重力流沉积的发育规律与演化模式，深化了陆相湖盆重力流沉积体系的理论认识，可为同类陆相盆地深水岩性油气藏与页岩油勘探提供重要的地质依据与实例参考。

关键词：陆相拗陷湖盆；重力流沉积；砂质碎屑流；异重流；沉积演化；

编号: NGGSF07062

延安地区延长组长 7 段纹层型页岩不同岩相含油性及可动性特征

赵卫卫^{1,2}, 邹鑫^{1,2}, 顾智宁^{1,2}, 李灵光^{1,2}, 徐茂霖^{1,2}

1. 西安石油大学地球科学与工程学院; 陕西 西安 710065

2. 油气成藏地质学陕西省重点实验室; 陕西 西安 710065

摘 要: 鄂尔多斯盆地三叠系发育多套富有机质页岩, 页岩油岩相类型多样、非均质性强, 不同岩相在孔隙结构、含油状态及流体可动性方面差异显著, 制约有效储层识别与甜点层段优选。明确不同岩相页岩发育特征、孔隙结构定量表征、页岩油赋存特征以及含油性等问题, 对页岩油的勘探开发具有重要意义。以延安地区延长组长 7 段富有机质页岩为研究对象, 通过薄片观察、扫描电镜、高压压汞、氮气吸附、核磁共振分析等实验手段, 对长 7 段纹层型页岩不同岩相的发育特征、储集性能、含油性和流动可动性进行分析, 明确页岩油赋存特征。研究表明: 研究区长 7 段粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、黑色页岩和凝灰岩中均发育纹层, 宏观上根据纹层厚度可划分为厚纹层状页岩 (厚度介于 1~10cm)、中纹层状页岩 (厚度介于 1mm~1cm)、薄纹层状页岩 (厚度<1mm) 3 种类型。长 7 段页岩纹层的矿物组成以长英质矿物 (27.7%~79%) 和黏土矿物 (12%~63%) 为主, 含少量碳酸盐矿物 (3.2%~27%)。微观上依据矿物组成划分为 4 种纹层单元和 2 种纹层组合: ①纹层单元: 粉砂质纹层、泥质纹层、富有机质纹层、凝灰质纹层。粉砂质纹层是长 7 段储集性能最好的纹层类型, 该纹层石英、长石等碎屑颗粒含量较高, 粒径较大, 孔隙的连通性较好, 储集物性较好, 孔隙度均值为 6.35%, 渗透率均值为 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 页岩油多数以游离态赋存在粒间孔中, TOC 分布区间为 2.1%~7.42%, 均值为 5.6%, S_1 分布区间为 0.9mg/g~8.36mg/g, 均值为 5.9mg/g, S_2 分布区间为 2.18mg/g~15.25mg/g, 均值为 9.88mg/g, OSI 主要分布范围在 51mg/g~150mg/g 之间, 均值为 114mg/g, 页岩油在其内部具有较好的流动性; 富有机质纹层和泥质纹层储集空间较小, 孔隙多分布在黏土矿物颗粒之

基金项目: 国家重大专项“陆相页岩储气机理与储层精细描述研究”(2017ZX05039-001-002) 资助

作者简介: 赵卫卫 (1976-), 男, 陕西武功人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事非常规油气地质及油气成藏地质学研究; E-mail: zhaowei3028@163.com。

间，连通性较差，含油饱和度较低，含油性较差。②纹层组合及含油性：高长英质纹层组合、高黏土质纹层组合。高黏土质纹层组合中发育较多的纳米孔和微米孔，能够为页岩油运移提供更充足储集空间，储集性能较好，但以微细孔隙和短 T_2 响应为主，流体可动性较弱；高长英质纹层中发育较少的孔隙类型，储集空间以粒间孔和溶蚀孔为主，中长 T_2 组分及离心可动响应最明显，是最有利的可动油富集岩相。不同岩相含油性与可动性的分异受沉积环境、物质组成、成岩改造及源储配置关系共同控制。

关键词：延安地区；长7段；富有机质页岩；纹层；岩相划分；储集空间；含油性特征

编号: NGGSF07063

鄂尔多斯盆地东部致密砂岩储层古凝析水的证据: 来自水化学、稳定同位素($\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 和生产数据的线索

赵子龙^{1,2}, 赵靖舟^{1,2}, 徐泽阳^{1,2}, 张智超^{1,2}, 刘子傲^{1,2}

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安, 710065; 2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安, 710065

摘 要: 地质学家们正在重新审视世界各地含油气盆地中的非常规油气潜力, 其中的致密砂岩气资源仍然是天然气供应的关键部分 (戴金星, 2026)。在过去的 10~15 年左右的时间里, 我们对致密砂岩气系统的认识在几乎所有尺度上都取得了较大的进展, 从准连续型天然气藏分布模式的提出 (Zhao et al., 2012, 2013), 非达西渗流的揭示 (李军等, 2013) 以及到单个孔喉系统的综合探究 (Shanley et al., 2004; Shanley and Cluff, 2015)。但致密砂岩气相关亟待解决的基本问题仍然存在, 如, 诸多学者认为致密砂岩气藏含水饱和度在 40% 以上, 高者甚至达到 60%~70% (e.g. 高树生等, 2012; 付金华等, 2019; 张岩等, 2020)。然而, 加拿大西部沉积盆地发育有多套低渗透-致密砂岩几乎不产水 (Zaitlin and Moslow, 2006)。鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩气藏密闭取心和测井资料显示, 气藏初始含水饱和度值在 20%~30% 之间, 束缚水饱和度范围在 40.37%~55.27% 之间 (张浩等, 2005)。鄂尔多斯盆地东部上古生界石盒子组 8 段和太原组的 3 口密闭取心井 138 个样品数据统计发现, 致密砂岩储集层中的原始含水饱和度主要分布在 40% 以下, 累积频率可达 83.1%, 平均含水饱和度为 26.7% (姚涇利等, 2014)。上述低渗透-致密砂岩气藏均属于低含水饱和度范畴, 地层产出水少或不产水。部分学者认为致密砂岩气藏高含水饱和度的假象多由井壁附近强烈的工作液滤液毛管自吸作用造成的 (姚涇利等, 2014)。另一方面, 学者们把不产水的原因归咎于低渗透-致密砂岩储集层具有“渗透性挑战” (Shanley and Cluff, 2015)。致密砂岩气储集层中高含水饱和度与生产实践显示致密储层砂岩产出水少或不产水的认识矛盾始终没有得到合理解决。

作者简介: 赵子龙, 1988 年 1 月生, 讲师, 从事油气成藏地质学和非常规油气地质勘探、地层压力及应力研究 Email: zlzhaoy@xsyu.edu.cn

本文为了阐明古凝析水形成机制的问题,我们首先展示了鄂尔多斯盆地东部大吉气田上古生界致密砂岩气藏中产出水的地化指标和稳定同位素。通过地层水地化特征和同位素数据解释了古凝析水充注后发生的水-岩反应和成岩流体演化。其次,利用研究区开发井实际生产数据揭示伴古凝析水的天然气实际生产特征。最后,依据古温度和压力变化的地质背景阐释古凝析水贡献增加而发生的采出水的实际演变过程,结合致密储层砂岩典型井的气-水相对渗透率和压力控制的压汞试验,构建古凝析水的产出模式。

取得了如下进展和认识:

1. 大吉气田地层水地化和稳定同位素数据表明,主要表现为高 TDS, 高 Sr 含量和 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$, Br 贫化, 水型为 CaCl_2 的半咸水和低苦咸水。

2. 在密封环境下,水-岩反应主要发生了钠-钙离子交换以致钠长石化和轻微的白云石化,与蒸发盐水发生了的相当程度的混合。尽管高温引起的强烈蒸发导致最轻的氧同位素 16O 的损失,氢氧同位素显示研究区地层水不属于岩浆水和变质水的范畴,为浓缩成因的古沉积水。锶同位素进一步证实地层水有别于海相碳酸盐岩和砂岩风化影响。

3. 在早白垩世末期,煤系烃源岩强烈生烃产生的古超压和地层温度的升高,使得致密储层砂岩中的地层水蒸发气化,与天然气一同以气态的方式充注至砂岩中。尽管过成熟阶段的天然气携液能力下降,但干气充注可将砂岩中的部分束缚水进一步蒸发迁移,综合形成了现今致密砂岩气藏低含水饱和度气藏。

4. 古凝析水的形成使得致密储层砂岩中出现气水同储和同出,同时伴古凝析水致密砂岩气生产表现为随着地层水产量上升,日产气量逐渐增大。伴随有水气比值低,在开采过程中未见产水气井中水气比持续上升。

这项建设性的工作还反驳了低渗储层砂岩在较高含水饱和度下可能存在的天然气不应被视为资源的结论,即当含水饱和度超过 40%~50% 时,天然气渗透率会发生迅速降低 (Byrnes, 1997),不会表现有显著的气体渗透率 (Shanley et al., 2004)。相反,这项研究表明,致密储层砂岩含水饱和度超过 50% 的区域还会有明显的气体渗透率,表现出在高含水饱和度下天然气仍会发生流动。再者,临界含水饱和度和束缚水饱和度值相近,这意味着致密砂岩气井多数表现出井井见气,不产水和/或产古凝析水。这一事实同样表明,在评价低渗-致密砂岩高含水饱和度的天然气资源中,该种现象可能常见,需要考虑在内的是此类气藏是否经历了古高温、高压的影响和地层水的性质和组成。

关键词: 古凝析水, 致密砂岩, 水-岩反应, 氧和氢的稳定同位素比值, 锶同位素, 鄂尔多斯盆地

主要参考文献

戴金星, 倪云燕, 杨智, 胡国艺, 龚德瑜, 黄士鹏, 于聪, 张延玲, 秦胜飞, 洪峰, 廖凤蓉, 2026. 鄂尔多斯超级气盆地. 世界石油工业, 33 (Z1): 1-20.

姚涇利, 王怀厂, 裴戈, 袁晓明, 张辉, 2014. 鄂尔多斯盆地东部上古生界致密砂岩超低含水饱和度气藏形成机理. 天然气工业, 34 (1): 37-43.

赵靖舟, 付金华, 姚涇利, 刘新社, 王宏娥, 曹青, 王晓梅, 马艳萍, 凡元芳, 2012. 鄂尔多斯盆地准连续型致密砂岩大气田成藏模式. 石油学报, 33 (S1): 37-52.

赵靖舟, 李军, 曹青, 白玉彬, 耳闯, 王晓梅, 肖晖, 吴伟涛, 2013. 论致密大油气田成藏模式. 石油与天然气地质, 34 (5): 573-583.

Shanley, K.W., Cluff, R.M., Robinson, J.W., 2004. Factors controlling prolific gas production from low - permeability sandstone reservoirs: Implications for resource assessment, prospect development, and risk analysis. AAPG Bulletin, 88(8), 1083 - 1121.

Shanley, K.W., Cluff, R.M., 2015. The evolution of pore - scale fluid-saturation in low-permeability sandstone reservoirs. AAPG Bulletin, 99(10), 1957 - 1990.

编号: NGGSF07064

富有机质海相页岩孔隙和微裂缝演化及其分形特征

谷一凡, 付永红, 庄红展, 姚莲芯, 蒋裕强

西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都, 610500

摘 要: 四川盆地志留系海相页岩是目前中国页岩气储量和产量的主要载体。本次研究基于分形维数, 志留系海相页岩的储层演化过程被查明, 页岩孔隙结构复杂程度和非均质性被定量表征。野外采集的页岩样品被进行物理模拟实验, 页岩的总有机碳 (TOC)、矿物组分、孔隙、微裂缝的演化过程被查明。结合 FHH 和毛管束模型, 页岩孔隙的分形维数被表征。基于相关系数、主成分分析法, 页岩组分、孔隙结果与分形维数之间的关系被探讨。孔隙、微裂缝的综合演化模式被建立。随着热演化程度的增加, 石英含量逐渐上升, 而黏土矿物、碳酸盐矿物、长石含量均逐渐降低。有机质的热演化表现为有机孔和收缩缝爱干酪根表面被形成。滞留烃在热演化晚期被裂解, 大量纳米级有机孔被形成。无机矿物的演化过程表现为压实作用、溶蚀作用和黏土矿物转化作用。孔隙度演化过程由四个阶段构成: 缓慢减小阶段、快速增大阶段、相对稳定阶段、缓慢降低阶段。孔容 (PV) 和比表面积 (SSA) 在热演化过程中都呈现出先降低后增加的趋势。但 PV 在过成熟阶段的晚期达到极值后缓慢下降。基于 FHH 模型, 不同成熟度下的富有机质页岩的孔隙表面的粗糙程度整体低于孔隙内部结构的复杂程度被发现。基于毛管束模型计算出的 DM 平均值高于 D1, D2, 这可能指示较大孔隙具更复杂的孔隙结构。相关系数矩阵表明, 页岩组分与孔隙结构之间具有协同演化关系。PCA 结果表明, 无机孔、微裂缝的孔隙度与 D2 关系密切。有机孔的孔隙度、孔径主体的 PV、SSA 与 D1 关系密切。D1 可被用来指示孔隙发育程度, 以及表征演化过程中被“消耗”或“生成”组分的变化。基于矿物组分、分形维数和孔隙结构演化过程, 富有机质页岩的孔隙及其分形维数的演化模式被建立。

关键词: 四川盆地; 海相页岩; 孔隙演化; 微裂缝; 多重分形维数

作者简介: 谷一凡, 1990-, 河北任丘人, 主要从事非常规油气地质与开发地质研究, E-mail: xnsygyf@1.com.



微信公众号



QQ读作者交流群

地址：兰州市天水中路8号

电话：0931-8277790

网址：<http://www.nggs.ac.cn/>

E-mail：nggsf@lzb.ac.cn