

文章编号:0253-9985(2012)05-0713-07

用自生伊利石定年确定鄂尔多斯盆地东北部 二叠系油气成藏期次

陈刚¹,徐黎明²,丁超¹,章辉若²,李书恒²,胡延旭¹,黄得顺¹,李楠¹,李岩¹

(1. 西北大学地质学系,大陆动力学国家重点实验室,陕西西安710069; 2. 中国石油长庆油田分公司,陕西西安710021)

摘要:运用含油气砂岩自生伊利石K-Ar定年方法,探讨分析了鄂尔多斯盆地东北部上古生界二叠系油气成藏的期次和时间。结果表明,二叠系不同含油气层段均不同程度地经历了与烃源岩两次主生烃作用相应的(175~155 Ma和145~115 Ma)原生油气成藏事件,峰值年龄主要集中在中侏罗世晚期的165 Ma和早白垩世早期的130 Ma。其中,下二叠统油气成藏期以较宽的时域分布(178~110 Ma),中、上二叠统则相对较晚地分布在(160~108 Ma),且上二叠统的起止时限主要集中在(160~125 Ma);二叠系样品年龄的空间分布总体呈现其油气成藏过程具有自南(178~122 Ma)向北(131~108 Ma)年龄逐渐减小的渐次运聚成藏特点。因此,包括上二叠统在内的二叠系不同层段均不同程度地经历了早-中侏罗世和早白垩世的两期原生油气成藏作用,上二叠统气藏现今显示的次生成藏特点很可能是在原生油气成藏基础上后期叠加改造或次生成藏的结果。

关键词:二叠系;油气成藏;自生伊利石测年;鄂尔多斯盆地东北部

中图分类号:TE112.3 **文献标识码:**A

Authigenic illite dating for the timing of oil-gas accumulation of the Permian reservoirs in northeastern Ordos Basin

Chen Gang¹, Xu Liming², Ding Chao¹, Zhang Huiruo², Li Shuheng², Hu Yanxu¹, Huang Deshun¹, Li Nan¹ and Li Yan¹

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: The K-Ar dating method with authigenic illite (AI) is applied to oil-gas-bearing sandstone core-samples to determine the stages and timing of the Permian oil-gas accumulation in northeastern Ordos Basin. Results show that the Permian oil-gas-bearing intervals all experienced two events of original oil-gas accumulation during the periods of 175 - 155 Ma and 145 - 115 Ma, respectively corresponding to two age-peaks at 165 Ma of the Middle Jurassic and 130 Ma of the Early Cretaceous in coincidence with the generation stages of the Permian hydrocarbon source rocks in the Early and Middle Mesozoic. Specifically, oil-gas accumulation in the Lower Permian features in a relatively wide time range from 178 Ma to 110 Ma, while that in the Middle and Upper Permian is characterized by a narrow time range from 160 Ma to 108 Ma. The AI dating of (160 - 125) Ma of the Upper Permian samples indicates a relatively earlier ending time of its oil-gas accumulation. Also, the spatial and temporal distribution of the AI ages shows that the sequence of oil-gas migration to accumulation in the Permian is mainly from south (178 - 122 Ma) to north (131 - 108 Ma). Accordingly, it could be speculated that reservoirs in the Permian almost unanimously experienced two stages of original oil-gas accumulation during the Early to Middle Jurassic and the Early Cretaceous; and the current secondary accumulation features of the Upper Permian reservoirs

收稿日期:2011-07-10;修订日期:2012-07-20。

第一作者简介:陈刚(1965—),男,教授、博士生导师,含油气盆地学与油气成藏年代学。

基金项目:国家基础研究发展计划项目(2003CB214607);陕西省自然科学基金重点项目(2012JZ5001);教育部高校博士点专项科研基金项目(20116101110006)与留学回国人员择优资助项目。

should be mainly caused by the later reformation and adjustment of the original oil-gas accumulation during the Late Mesozoic to Cenozoic uplifting of the basin.

Key words: Permian, oil-gas accumulation, authigenic illite dating, northeastern Ordos Basin

油气成藏年代学是石油地质学和油气勘探中一个重要的理论和实际问题,更是多旋回叠合盆地油气运聚成藏过程分析的关键。近十多年来,含油气储层成岩矿物同位素定年方法的不断探索和应用,极大地推进了油气成藏年代学的定量研究^[1-4];但对于多旋回叠合盆地而言,烃源岩生烃的多阶段性、油气成藏的多期次性、油气储层的非均质性及其油气充注与成岩矿物生长之间的关系尤为复杂^[5-8]。使得人们对这种复杂情况下成岩自生伊利石定年数据与油气成藏期次的关系,仍然在理论方法和实际应用中存在不同的认识。鄂尔多斯盆地东北部二叠系含油气系统具有多层系复合、多期次成藏特点^[9-15],特别是近年来突破中二叠统泥岩盖层相继发现了多个上二叠统次生气藏^[15-19],二叠系及其不同层段油气成藏的期次、时间和上二叠统次生气藏的成因机理等问题成为这一地区近年来油气勘探和成藏动力学研究备受关注的重要问题。据此,本文选择该区上古生界已发现工业油气流的 Mn5, S8 和 M8 3 口钻井,采集二叠系不同含油气层段的中、细粒砂岩样品进行了自生伊利石 K-Ar 定年,探讨分析鄂尔多斯盆地东北部二叠系油气成藏的时间及其可能的分布特点,为该区多期次油气动态成藏过程研究提供定量年代学信息和约束。

1 区域构造与油气地质特征

鄂尔多斯盆地是在古生代华北克拉通陆表海-滨浅海盆地基础之上叠合发育的中生代内陆河湖相多旋回沉积盆地,并经历了晚白垩世以来多旋回的差异抬升剥蚀与后期改造作用^[10],最终形成了盆地东北部现今的构造单元分区面貌(图1),中东部的陕北斜坡(I)、东缘的晋西挠褶带(II)和北缘的伊盟隆起(III)。研究区普遍缺失晚白垩世-新近纪早期的沉积地层,厚度不大的新近系上部层段以低角度不整合关系自西向东依次覆盖在下白垩统一古生界的不同层系之上,各个地层单元总体呈现为向西或南西缓倾的单

斜构造。盆地边缘晋西挠褶带和伊盟隆起区构造活动性相对较强,发育一系列(中生代)逆断层、挤压背斜和一些(新生代)中小型正断层^[10-11];斜坡带的神木-榆林地区相对平缓,部分发育一些断面陡直、性质不同的小型断层和构造裂缝^[11]。

鄂尔多斯盆地东北部是上古生界多层系复合含气与多期次成藏的典型地区^[10-19]。这里不仅发育中、下二叠统(源内或近源)下组合原生油气藏系统^[10-15],同时还在双山-神木的 Y17, M8, S8 和 Mn5 等井区的中二叠统区域泥岩盖层之上的上二叠统石千峰组相继发现了(源外)上组合次生油气藏系统^[15-19]。它们的油气母岩主要为下二叠统含煤泥质岩系,烃源岩成熟生烃及原生油气成藏作用主要发生在早-中侏罗世和早白垩世的最大沉降埋藏增温和构造热异常增温阶段^[9-11]。从中、下二叠统到上二叠统油气藏纵向序列来看,天然气组分中甲烷含量逐渐增加、乙烷-丁烷含量和 $\delta^{13}\text{C}_{1-4}$ 相对减小,气藏压力显著降低;上二叠统油气层段表现为低压力系数(1.0~0.39)、高甲烷含量(94%~97%)、较轻的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值(-37%~-36%)和较低的 C_2 以上烃含量(0.04%~1.57%),总体呈现出后期调整改造与次生油气成藏的特点^[15-19]。

2 伊利石定年样品数据

2.1 原理方法

通常认为,砂岩储层自生伊利石形成于一定的成岩阶段,而且总是与富钾的流体水介质有关。碎屑伊利石和成岩早期形成的伊利石粒径较大;而晚期形成的伊利石粒径小,多呈纤维状或丝状,且伊-蒙有序间层矿物(I/S)含量较高(50%~90%)、I/S 混层比较低(25%~40%)。如果在自生伊利石形成阶段油气注入储层,则储层含油气饱和度的增加会破坏自生伊利石生长环境,自生伊利石的形成便会受到抑制或终止,成为油气充注成藏时间记录的理想成岩矿物^[1-4, 19-22]。

年,具体方法流程见文献[20]—[22]。采用真空抽滤与离心分离相结合的自生伊利石提纯技术,从岩石样品分离提取了<0.15,0.15~0.30,0.30~0.45,0.45~1,和1~2 μm的粒级组分;通过SEM,TEM和XRD等的自生伊利石鉴定分析和纯度检测,所有样品在<0.15和0.15~0.30 μm两个小粒级组分下基本可以剔除碎屑伊利石、绿泥石或其他含钾矿物的影响,样品中的伊利石主要如图2所示的丝片状的成岩伊利石或伊-蒙有序间层矿物(I/S),I/S间层矿物含量主要分布在50%~99%,间层比普遍小于5%~25%。说明分离提纯的上述两个粒级组分的自生伊利石纯度较

高,能够满足自生伊利石定年要求。

通过自生伊利石样品的⁴⁰Ar/³⁸Ar及³⁸Ar/³⁶Ar比值和K含量测试,以及在此基础上的XRD纯度检测和⁴⁰Ar*/⁴⁰K计算检验,采用K-Ar稀释法计算获得了每块测试样品碎屑组分为零时的自生伊利石年龄。从表1的定年数可以看出,4个样品0.30~0.15和<0.15 μm两个小粒级组分的测年数据在误差范围内基本一致,表明这两个小粒级组分的伊利石年龄都接近或代表了自生伊利石的成岩年龄。另有3个样品小于0.15 μm粒级组分的伊利石含量太低而无法满定年要求,主要给出了0.30~0.15 μm粒级组分的最小年龄。所有

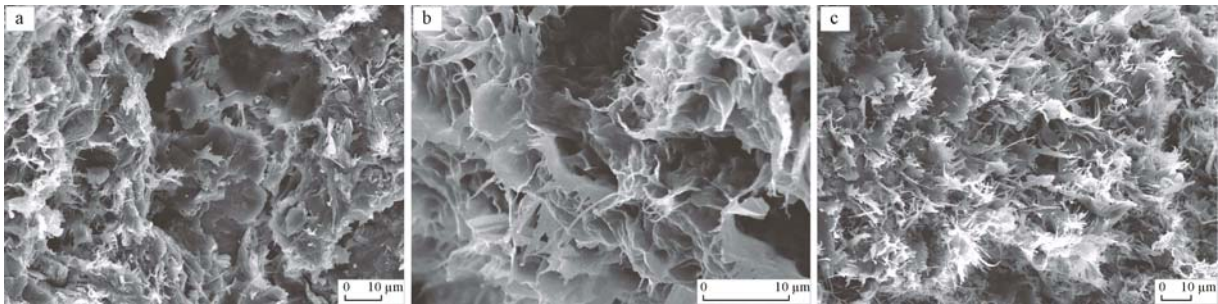


图2 鄂尔多斯盆地东北部二叠系砂岩样品的自生伊利石扫描电镜(SEM)特征

Fig. 2 SEM features of autogenetic illites of the Permian sandstone samples from northeastern Ordos Basin
a. Mn5 井 P₂ 砂岩粒间溶孔内的丝状伊利石; b. M8 井 P₃ 砂岩石英颗粒间的片丝状伊利石; c. S8 井 P₂ 砂岩颗粒表面的丝状伊利石

表1 鄂尔多斯盆地东北部二叠系不同层段含油气砂岩自生伊利石 K-Ar 定年数据

钻井岩心	层位	粒级/μm	I/S 间层含量/%	I/S 间层比/%	钾含量/%	年龄/Ma	来源
Mn5-1a	P ₃	0.15~0.30	89	25	3.78	125.75±1.56	本次测试数据
		<0.15	88	25	3.86	131.40±1.57	
Mn5-2a	P ₂	0.15~0.30	71	25	5.11	108.07±1.48	
Mn5-3a	P ₁	0.15~0.30	100	5	7.24	107.96±2.25	
		<0.15	97	5	6.99	110.99±0.80	
S8-1a	P ₃	0.15~0.30	57	25	3.52	144.81±3.20	
S8-2a	P ₂	0.15~0.30	48	25	4.13	122.03±1.57	
		<0.15	50	25	4.17	126.73±1.03	
S8-3a	P ₁	0.15~0.30	96	5	5.90	178.54±1.32	
M8-1a	P ₃	0.15~0.30	78	25	3.76	163.26±1.37	
		<0.15	96	10	3.95	160.01±1.51	
S25-1	P ₃	<0.15	57	25	3.81	152.38±1.11	据文献 [19]
SS17-1	P ₂	<0.15	70	25	5.30	129.06±1.64	
F5-1	P ₁	<0.15	99	5	7.00	124.95±0.99	
M13-1	P ₁	<0.15	96	10	6.52	132.46±1.22	
Y84-1	P ₁	<0.15	97	10	6.44	160.32±1.31	

样品的自生伊利石年龄都远小于其宿主岩层的年龄(299~251 Ma),且不同层段样品的年龄大小与其埋藏深度不存在明显的正相关关系,说明自生伊利石的生长或抑制与其宿主岩层孔隙流体化学性质随埋深变化无关,主要受制于油气的选择性充注对储层孔隙流体性质的影响^[20-22],可以代表宿主砂岩储层所经历的油气充注成藏事件年龄。

3 油气成藏年龄分析与讨论

二叠系不同层段含油气砂岩自生伊利石定年数据的对比分析可以看出(表1),中、下二叠统样品的自生伊利石年龄分布在178~108 Ma,主要集中在早白垩世的126~108 Ma,且呈现自南(S8井)向北(Mn5井)年龄逐渐减小的分布特点。其中,S8井下二叠统样品0.30~0.15 μm 粒级组分给出了相对偏大的年龄(178 Ma),中二叠统样品两个小粒级组分的年龄减小至126~122 Ma。其北侧Mn5井中、下二叠统样品两个粒级组分的年龄均比较年轻,主要集中在110~108 Ma。上二叠统样品的自生伊利石年龄主要分布在160~131 Ma,具有自南向北逐渐减小的年龄分布特点,M8井及其以北的S8井至Mn5井自生伊利石年龄分别为160.0,144.8和131.4 Ma。显然,自生伊利石样品年龄的空间分布规律总体指示研究区二叠系的油气运聚成藏年龄具有自南向北逐渐减小的特点,且主要集中在早-中侏罗世和早白垩世盆地多旋回沉降增温过程和二叠系烃源岩的主要生、排烃阶段,总体具有原生油气成藏性质。另从定年数据分布所反映的二叠系不同层段原生油气成藏时序关系来看,下二叠统内源油气成藏时间(178~110 Ma)相对较早、持续较长,近源的中二叠统成藏时间相对较晚(126~108 Ma),源外的上二叠统成藏时间(160~125 Ma)持续较短、结束较早。

进一步结合相邻钻井二叠系自生伊利石定年数据分析^[19],二叠系不同层段小于0.15 μm 粒级的伊利石年龄与本次的测年结果及其特定变化规律具有较好的可比性(表1)。考虑到测年样品选择的随机性和多层系非均质储层油气充注作用的复杂性,将研究区二叠系不同层段已有样品年龄数据进行了分类统计分析,显示出二叠系油气成

藏主要集中在175~155和145~115 Ma的两个主值区间(图3),相应的峰值年龄分别为中侏罗世的165 Ma和早白垩世的130 Ma,表明盆地东北部二叠系不同层段至少经历过两期原生油气成藏事件:前者(I)基本对应于早-中侏罗世沉降增温晚期下二叠统烃源岩油气生成与二叠系原生油气成藏的时间,且呈现出中、下二叠统略早于上二叠统的成藏年龄分布特点;后者(II)则与早白垩世构造热作用阶段二叠系大规模油气生成-运聚成藏时期基本一致,且呈现出中、下二叠统油气成藏时间较长、结束时间略晚于上二叠统的成藏年龄分布特点。由此可以看出,研究区近年来发现的上二叠统气藏可能并非烃源岩主生烃期之后简单的后期次生成藏,很大程度上是在中侏罗世和早白垩世原生油气成藏基础上后期调整逸散或次生改造的结果。但是,或许是受样品分布或伊利石测年方法本身某些局限性的影响,已有样品的伊利石定年数据缺失上二叠统后期次生油气成藏的相关年龄记录。

实际上,油气注入储层究竟如何影响了伊利石等成岩矿物的生长和自生伊利石能够在多大程度上记录多期次油气成藏的年代学信息,还存在一些有待进一步探索的问题^[1-4,20-24]。Karlsen等(1993)和王飞宇等(2002)的实验分析结果显示,油气注入储层后成岩矿物的生长并不一定完全终止^[24],储层含水饱和度小于40%情况下水-岩作用速率会大大降低而不是完全终止^[1]。对于多旋回叠合盆地而言,油气成藏过程不仅受制于烃源岩生、排烃作用的多阶段性^[5-7],而且还会受到成岩作用和不同尺度下储层非均质性及其优势通道的影响,相同或不同成岩-成藏阶段多层系复合储层的油气运移路径和充注程度往往具有较强非均匀性^[25],因而势必带来多期次油气充注对非均质储层成岩矿物生长的抑制程度在不同成藏阶段和不同空间层段的非一致性,以及不同层段或区带自生伊利石形成世代及其年龄的差异分期性,甚或由于定年样品选择的随机性而出现对部分层段多期次油气成藏年龄记录的丢失,这可能是导致研究区自生伊利石定年虽然记录了二叠系不同层段两期原生油气成藏年龄及其空间变化特点,但又明显缺失上二叠统后期次生油气成藏年龄数据的重要原因。已有研究表明,先期油气充注层段的自生伊利石年龄基本相近,且总体上大于后期

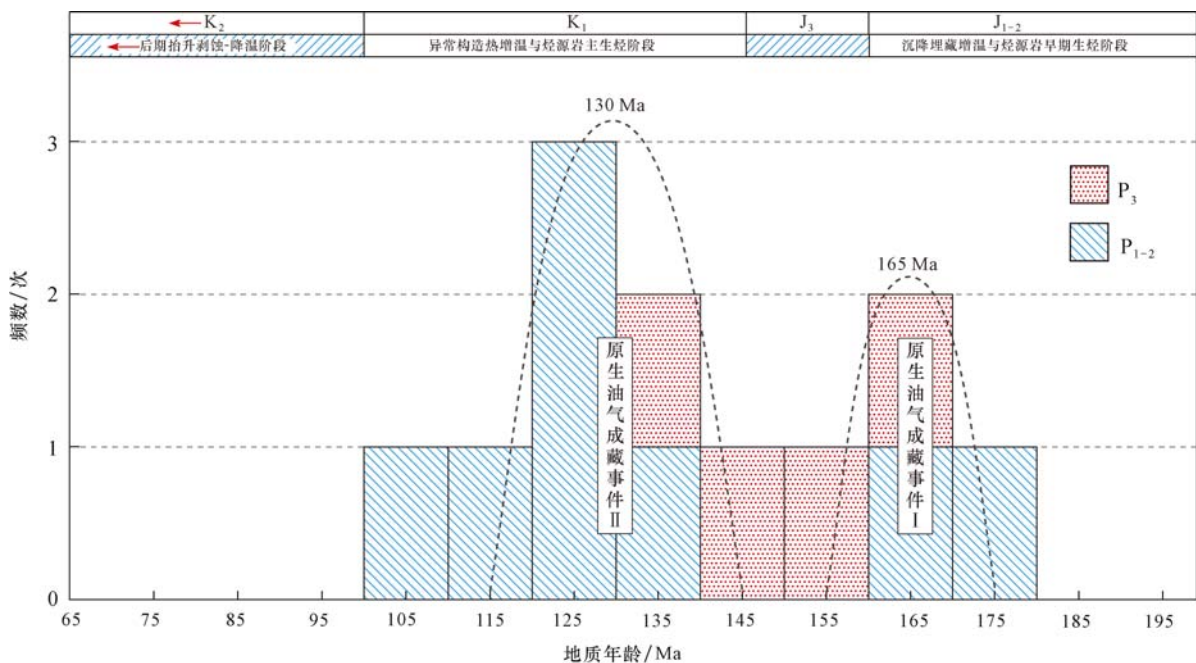


图3 鄂尔多斯盆地东北部二叠系不同含油气砂岩层段自生伊利石测年数据统计分布特征

Fig. 3 Histogram of autogenetic illite K-Ar ages from different hydrocarbon-bearing sandstone intervals in the Permian of northeastern Ordos Basin

接受油气充注者的年龄,多井段样品定年数据的统计分析可在一定程度上提供多旋回盆地多期次尤其是原生油气成藏的定量年代学信息。

4 结论与认识

综合上述分析,鄂尔多斯盆地东北部二叠系不同含气砂岩层段主要经历了中生代两期原生油气成藏事件,峰值年龄集中在中侏罗世晚期的 165 Ma 和早白垩世早期的 130 Ma,大致对应于盆地东北部多旋回沉降增温过程二叠系烃源岩早、中侏罗世和早白垩世的两期主要生-排烃事件。在空间分布上,二叠系不同层段的油气动态成藏过程总体呈现为由南(178 ~ 122 Ma)向北(160 ~ 108 Ma)运移充注、渐次成藏的年龄分布特点;在剖面序列上,下二叠统油气成藏时间(178 ~ 110 Ma)相对较早、持续较长,中二叠统的油气成藏时间(126 ~ 108 Ma)相对较晚,上二叠统则表现为油气成藏持续时间较短(160 ~ 125 Ma)、结束较早的特点。由此认为,研究区二叠系不同层段近乎一致地经历过中侏罗世和早白垩世的原生油气成藏作用;上二叠统现今呈现的次生气藏特点很可能是在原生

油气藏基础上后期调整改造或次生成藏的结果,但现有样品的自生伊利石定年没有获得与之相应的成藏年代学记录。

因此,含油气储层自生伊利石年定年总体上限定了中生代鄂尔多斯盆地二叠系原生油气藏形成的期次和时间,并在一定程度上提供了二叠系多期次油气动态成藏过程的相关信息;但同时也应该看到,由于我们尚不能很好地将非均质储层的自生伊利石生长与不同期次的油气充注状况联系起来,以及受样品选择和伊利石年定年的某些局限性影响,这种方法在多大程度上能够用于原生与次生复合型油气成藏的定量年代学研究,还有待更多研究实例的综合剖析和从更深层次上认识多期次油气充注与自生伊利石生长或抑制的流-岩相互作用机理。多种定年方法的优势互补和统计学意义上多类型样品的系统分析,有可能是全面认识多旋回叠合盆地多层系复合油气藏形成期次及其复杂动力学成藏过程的重要途径。

致谢:西北大学刘池阳教授、伦敦帝国理工 Philip A. Allen 教授、长庆油田公司张文正教授、中石油勘探开发研究院张有瑜高工等,在研究思路

和样品分析中给予了很多有益的启示和帮助,深表感谢!

参 考 文 献

- [1] 王飞宇,金之钧,吕修祥,等.含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J].地球科学进展,2002,17(5):754-762.
Wang Feiyu, Jin Zhijun, Lu Xiuxiang, et al. Timing of petroleum accumulation: theory and new methods[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(5): 754-762.
- [2] 陈红汉.油气成藏年代学研究进展[J].石油与天然气地质,2007,28(2):143-150.
Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143-150.
- [3] 邱华宁,吴河勇,冯子辉,等.油气成藏 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年难题与可行性分析[J].地球化学,2009,38(4):405-411.
Qiu Huaning, Wu Heyong, Feng Zihui, et al. The puzzled and feasibility in determining emplacement ages of oil-gas reservoirs by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ techniques[J]. Geochimica, 2009, 38(4): 405-411.
- [4] 赵靖舟.油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J].地球科学进展,2002,17(3):378-383.
Zhao Jingzhou. Geochronology of petroleum accumulation: new advances and future trend[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(3): 378-383.
- [5] 李文涛,陈红汉.多旋回叠合盆地油气成藏期次与成藏时期确定[J].石油与天然气地质,2011,32(3):333-341.
Li Wentao, Chen Honghan. Hydrocarbon accumulation stages and their timing in multicyclical superimposed basins[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3): 333-341.
- [6] 赵文智,张光亚,王红军,等.中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J].石油勘探与开发,2003,30(2):1-8.
Zhao Wenzhi, Zhang Guangya, Wang Hongjun, et al. Basic features of petroleum geology in the superimposed petroliferous basins of China and their research methodologies[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 1-8.
- [7] 金之均.中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展[J].石油与天然气地质,2005,26(5):553-562.
Jin Zhijun. New advancement in research of China's typical superimposed basins and reservoiring[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 553-562.
- [8] 姜振学,庞雄奇,黄志龙.叠合盆地油气运聚期次研究方法及应用[J].石油勘探与开发,2000,27(4):22-25.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Huang Zhilong. A method for studying the oil and gas migration stages in superimposed basin and its application[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 22-25.
- [9] Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Tectonic thermal history and its significance on the formation of oil and gas accumulation and mineral deposit in Ordos basin[J]. Science in China(D): Earth Science, 2007, 50(S II): 27-38.
- [10] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.
Yang Junjie. Tectonic evolution and oil-gas reservoir distribution in Ordos basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [11] 汪泽成,赵文智,门相勇,等.基底断裂隐性活动对鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏的作用[J].石油勘探与开发,2005,32(1):9-13.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Men Xiangyong, et al. Control of basement fault minor-activity on gas pool formation of upper Palaeozoic, Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 9-13.
- [12] 张永贵,刘振峰.鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩气藏储层建模[J].石油与天然气地质,2011,32(4):560-567.
Zhang Yonggui, Liu Zhenfeng. Reservoir modeling of tight gas sands in the Upper Palaeozoic of the northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 560-567.
- [13] 陈昭佑,王光强.鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式[J].石油与天然气地质,2010,31(5):632-639.
Chen Zhaoyou, Wang Guangqiang. Assemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 632-639.
- [14] 罗东明,陈舒薇,张广权.大牛地气田上古生界沉积相与天然气富集规律的再认识[J].石油与天然气地质,2011,31(3):368-374.
Luo Dongming, Chen Shuwei, Zhang Guangquan. New understandings of the Upper Paleozoic sedimentary facies and gas accumulation patterns in Daniudi gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 368-374.
- [15] 李明瑞,窦伟坦,蔺宏斌,等.鄂尔多斯盆地东部上古生界致密岩性气藏成藏模式[J].石油勘探与开发,2009,36(1):56-61.
Li Mingrui, Dou Weitan, Lin Hongbin, et al. Model for tight lithologic gas accumulation in upper Palaeozoic, east of Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 56-61.
- [16] 杨华,姬红,李振宏,等.鄂尔多斯盆地东部上古生界石千峰组低压气藏特征[J].地球科学,2004,29(4):413-419.
Yang Hua, Ji Hong, Li Zhenghong, et al. Characteristics of under-pressured gas pool in upper Paleozoic shiqianfeng formation of eastern Ordos basin[J]. Earth Science, 2004, 29(4): 413-419.
- [17] 李明瑞,窦伟坦,蔺宏斌,等.鄂尔多斯盆地东部上古生界致密岩性气藏成藏模式[J].石油勘探与开发,2009,36(1):56-61.

(下转第729页)

684.
Liu Hong, Wu Xingbo, Tan Xiucheng, et al. Logging evaluation of permeability of multicyclic carbonate rock reservoirs in the Middle Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 678–684.
- [15] 涂兴万. 缝洞型碳酸盐岩底水油藏水锥风险条件综合评判[J]. 断块油气田, 2011, 18(3): 383–385.
Tu Xingwan. Risk evaluation of water coning by synthetic judgment in fractured-vuggy carbonate reservoir with bottom water[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(3): 383–385.
- [16] 郭彤楼. 川东北地区碳酸盐岩层系孔隙型与裂缝型气藏成藏差异性[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 311–317, 326.
Guo Tonglou. Differences in reservoir forming between porous and fractured gas pools in carbonates, the northeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 311–317, 326.
- [17] 梁积伟, 李宗杰, 刘昊伟, 等. 塔里木盆地塔河油田 S108 井区奥陶系一间房组裂缝性储层研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5): 447–452.
Liang Jiwei, Li Zongjie, Liu Haowei, et al. Characteristics of fracture reservoir of Ordovician Yijianfang Formation in S108 area of Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 447–452.
- [18] 杨敏, 靳佩. 塔河油田奥陶系缝洞型油藏储量分类评价技术[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 625–630.
Yang Min, Jin Pei. Reserve classification and evaluation of the Ordovician fractured-vuggy reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 625–630.
- [19] 宋化明, 刘建军. 塔河油田四区缝洞性油藏缝洞单元划分方法研究[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(3): 61–64.
Song Huaming, Liu Jianjun. Study on the fracture-cavity unit division method of fracture-cavity reservoirs in the 4th block of Tahe oilfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(3): 61–64.

(编辑 李军)

(上接第 719 页)

- Li Mingrui, Dou Weitan, Lin Hongbin, et al. Model for tight lithologic gas accumulation in upper Palaeozoic, east of Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 56–61.
- [18] 李振宏, 王欣. 鄂尔多斯盆地东部石千峰组天然气成藏机理初探[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 314–318.
Li Zhenhong, Wang Xin. The elementary analysis of reservoir mechanism in the Shiqianfeng formation of the eastern Ordos basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 314–318.
- [19] 张艳萍. 鄂尔多斯盆地东部地区上古生界天然气成藏年代研究[D]. 西安: 西安石油大学油气资源学院, 2008: 69–74.
Zhang Yanping. Study on reservoiring period of the Upper Paleozoic gas reservoir of the eastern Ordos basin[D]. Xi'an: School of Petroleum Resources Xi'an Shiyou University, 2008: 69–74.
- [20] 王飞宇, 郝石生, 雷加锦. 砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 40–43.
Wang Feiyu, Hao Shisheng, Li Jiajin. The isotopic dating of authigenic illite and timing of hydrocarbon fluid emplacement in sandstone reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(2): 40–43.
- [21] 张有瑜, 罗修泉, 宋健, 等. 油气储层中自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究若干问题的初步探讨[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 403–407.
Zhang Youyu, Luo Xiuquan, Song Jian, et al. Discussions on K-Ar isotopic geochronological studies of authigenic illites in hydrocarbon reservoirs[J]. Geoscience, 2002, 16(4): 403–407.
- [22] Hamilton P J, Kelley S, Fallick A E. K-Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Minerals, 1989, 24: 215–231.
- [23] Worden R H. Can oil emplacement prevent quartz cementation in sandstones? [J]. Petroleum Geoscience, 1997, 4(2): 129–137.
- [24] Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(15): 3641–3659.
- [25] Luo Xiaorong. Simulation and characterization of pathway heterogeneity of secondary hydrocarbon migration[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(6): 881–898.

(编辑 高岩)