

文章编号: 0253-9985(2009)02-0156-06

鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透储层 致密史与油藏成藏史

邓秀芹^{1,2}, 刘新社^{1,2}, 李士祥²

(1. 西北大学 地质系 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 陕西 西安 710069)

(2. 中国石油天然气股份有限公司 长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018)

摘要: 针对鄂尔多斯盆地湖盆中部三叠系延长组超低渗透岩性油藏形成机理, 在包裹体宿主矿物成岩序列和均一温度分析基础上, 明确了钠长石中的烃类包裹体形成于晚侏罗世早期的早期充注过程中, 石英加大边中包裹体形成于早白垩世生排烃高峰期, 含铁碳酸盐中的烃类包裹体形成于早白垩世末抬升降温过程中的早期阶段, 为晚期充注的产物。同时结合现今储层孔隙发育特征, 探讨生排烃高峰期储层古孔隙度和古渗透率, 提出生排烃高峰期延长组超低渗透储层尚未形成, 含铁碳酸盐胶结是造成储层致密的决定性因素。

关键词: 烃类包裹体; 成岩序列; 古物性; 超低渗透油藏; 致密史; 成藏史; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE 122 文献标识码: A

The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin

Deng Xiuqin^{1,2}, Liu Xinshe^{1,2}, Li Shixiang²

(1 Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Education, Department of geology, Northwest University,

Xi'an, Shaanxi 710069, China; 2 Exploration and Development Research Institute of

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

Abstract According to the genesis of the super-low permeability reservoirs in the Late Triassic Yanchang Formation in the central Ordos lacustrine basin, diagenetic sequences and homogenization temperature of host minerals of inclusions were analyzed. Hydrocarbon inclusions in albite were formed during the early charging in the early of the Late Jurassic; hydrocarbon inclusions in quartz overgrowth developed during the peak hydrocarbon generation and expulsion in the Early Cretaceous, while those in ferruginous carbonates were generated during the early phase of the uplifting and cooling process at the end of the Early Cretaceous and were the products of late charging. Taking account of current development characteristics of pores in the reservoirs, palaeo-porosity and palaeo-permeability of reservoirs during the peak hydrocarbon generation and expulsion were discussed. It is proposed that the super-low permeability reservoirs had not been developed during the peak hydrocarbon generation and expulsion, and that cementing of ferruginous carbonates is the crucial factor for the compacting of reservoirs.

Key words compacting history; accumulating history; hydrocarbon inclusion; diagenetic sequence; paleo-physical property; super-low permeability reservoir; Ordos Basin

为了满足国民经济的快速发展, 降低由于东部老油区产量递减造成的原油进口逐年增长的压

力, 以往认为低效的岩性油藏愈来愈成为寻找大油气区的重点领域。岩性油藏勘探是今后相当长

收稿日期: 2008-08-11。

第一作者简介: 邓秀芹(1972-), 女, 高级工程师, 石油地质。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214602); 中国石油天然气股份有限公司项目(06-01A-01-01)。

的时期内我国陆上最有潜力、最现实的油气勘探领域^[1]。经历了几十年的勘探开发,鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透、特低渗透岩性油藏成为我国低渗透岩性油气藏勘探开发的典型代表,其中晚三叠世湖盆中部地区延长组长 6—长 8(长 6—长 8)储层尤其致密,一般渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据 1998 年实施的中华人民共和国石油天然气行业标准《油气储层评价方法》^[2],湖盆中部长 6—长 8 储层划归为超低渗透储层范畴。

前人针对鄂尔多斯盆地延长组低渗透储层特征已开展了大量的研究^[3~5],但是对延长组低渗透油藏的成藏史与致密史的关系研究尚较薄弱,而且对延长组油藏的成藏时间和期次的认识仍存在很大的差异^[6~8]。本文从包裹体特征和成岩序列分析入手,通过分析湖盆中部长 6~长 8 超低渗透储层生排烃高峰期储层古物性特征,探讨了储层致密史与成藏史的时空匹配关系。

1 储层基本特征

鄂尔多斯盆地晚三叠世湖盆中部地区长 6—长 8 储层主要为三角洲前缘水下分流河道、河口坝和浊流沉积^[9~12]。其中,长 8 储层主要为中、细砂岩,岩石类型以长石砂岩为主,岩屑长石砂岩次之,颗粒间多为点、点—线接触;长 6、长 7 油层组发育长石砂岩、岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,细砂岩、粉砂岩占绝对优势,颗粒间以线、点—线接触为主。

由于沉积相带和成岩作用的差异导致不同油层组储层物性存在较大的差异。其中,长 6 储层孔隙度一般 8.5%~14.3%,渗透率 $0.02 \times 10^{-3} \sim 1.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;长 7 孔隙度一般 5.4%~12.8%,渗透率 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;长 8 物性较好,孔隙度一般 5.2%~12.2%,渗透率 $0.02 \times 10^{-3} \sim 5.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 成藏期次划分

20 世纪 80 年代以来,流体包裹体逐渐应用于石油地质领域,目前已成为油气源对比、油气运移、成藏期次、盆地演化等研究的主要手段之一^[13~22]。流体包裹体作为地下岩石中古代流体

的载体和一个相对封闭的地球化学体系保留了地下流体的许多重要信息。沉积盆地中的流体包裹体可以分成继承性和非继承性两大类。继承性包裹体是指沉积碎屑矿物中从蚀源区携带来的包裹体,也称为非成岩包裹体,不能代表沉积盆地成岩、成矿信息。非继承性包裹体是在盆地埋藏成岩过程中形成的,也称为成岩包裹体,记录了油气生成、运移、聚集、成藏等信息。鉴于此,本文通过对鄂尔多斯盆地晚三叠世湖盆中部地区 19 口井 60 块样品 216 个点测试、统计分析,在划分继承性包裹体和成岩包裹体类型的基础上,分析了包裹体的形成期次。

2.1 流体包裹体类型及特征

延长组储集层中的流体包裹体丰富,主要为无色、灰褐色和浅黄色,均一温度存在两个峰值,分别为 80~100℃和 120~140℃,包裹体可划分为 4 种类型。

石英裂隙中包裹体:该类包裹体均一温度为 80~150℃,平均 121℃,部分甚至超过 150℃。包裹体呈串珠状或孤立状产出,主要为盐水包裹体,不发荧光,石英裂隙不切穿加大边(图 1)。

石英加大边中包裹体:包裹体均一温度平均 104℃,呈串珠状或孤立状产出,既有盐水包裹体,又有烃类包裹体,发荧光。

钙质胶结物中包裹体:包裹体常孤立状产出,均一温度平均 98.1℃,一些包裹体发强荧光。对碳酸盐胶结物进行电子探针分析,成分主要为 CaO 和 MgO ,并含有少量 FeO (表 1),因此碳酸盐胶结物主要为铁方解石和铁白云石。

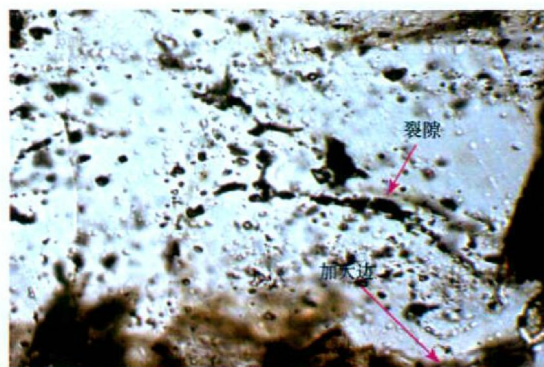


图 1 石英裂隙与加大边的关系

Fig. 1 The relationship between fissures and outgrowth edges of quartz grain

表 1 鄂尔多斯盆地湖盆中部延长组碳酸盐胶结物电子探针分析测试结果

Table 1 The electron probe microanalysis of carbonate cements in the Yanchang Formation in the central Ordos lacustrine basin

样品	含量, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	MgO	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	FeO
B5- 4- 2		0.041				0.277	64.330	0.449		2.030
B2- 1- 7	0.003		0.016	0.005	0.069	21.220	34.690	0.091	0.019	0.632
B5- 4- 5	8.210		0.467	0.121	0.018	0.213	53.020	0.227	2.480	1.036
B6- 4- 2	0.022	0.001		0.030	0.021	0.216	64.250	0.116	0.036	1.940

钠长石中包裹体: 钠长石胶结物中的包裹体均一温度平均 98.1℃, 包裹体常发强荧光, 既有盐水包裹体, 又有烃类包裹体, 多孤立状分布。

第一种类型的包裹体, 由于石英裂隙一般不切穿石英加大边, 包裹体中未发现烃类包裹体, 且均一温度过高, 与每百米地温梯度为 3.3~ 4.5℃、湖盆中部长 6—长 8 最大埋深为 2 400~ 3 000 m 的认识矛盾^[23 24]。所以该类包裹体为继承性包裹体, 对成岩作用、成藏期次的研究不具任何意义, 其他 3 种包裹体为成岩包裹体。

2.2 成岩作用及成岩序列分析

延长组长 6—长 8 储层主要的成岩矿物有伊利石、碳酸盐、绿泥石、硅质等 (表 2)。在不同的成岩演化阶段由于介质环境的差异, 自生矿物按照一定的先后形成。

绿泥石: 往往形成于富铁的弱碱性介质环

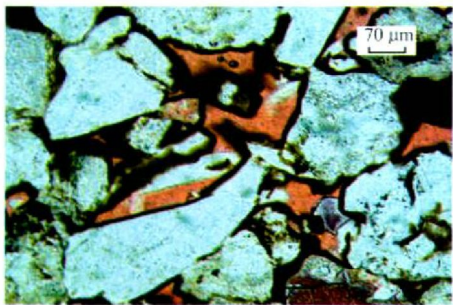
境, 主要以绿泥石膜的形式产出。其形成相对较早, 在压实作用开始后不久, 碎屑颗粒间以点接触为主时, 自生绿泥石便开始沿粒间孔隙内壁垂直生长, 在薄片上常常可以见在石英加大边包裹绿泥石膜的现象 (图 2), 说明绿泥石膜形成于石英加大之前。此外, 未发现绿泥石膜包裹长石粒内溶孔, 但却大量存在绿泥石膜包围长石铸膜孔的现象, 因此, 判断绿泥石膜形成于长石溶解之前。

钠长石胶结: 延长组砂岩中自生长石几乎全呈加大形式存在, 主要为钾长石和钠长石。一些碎屑长石如斜长石或碱性长石系列的中间长石, 化学性质相对不稳定, 地温条件下它们先部分溶解, 然后再沉淀为纯净的自生长石。自生长石的形成必须有高浓度的溶解 SiO₂、足够的 Na⁺/H⁺ 或 K⁺/H⁺ 比值及中等的地温梯度, 主要形成于晚成岩 A 期、B 期。

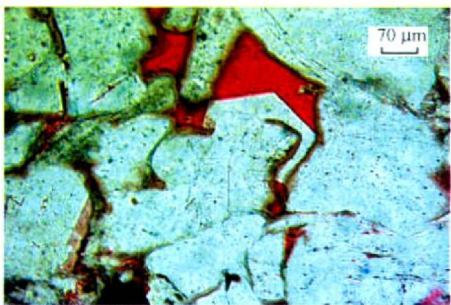
表 2 鄂尔多斯盆地湖盆中部地区长 6—长 8 油层填隙物含量统计表

Table 2 Statistical chart of matrix content in oil layers of Ch6- 8 in the central Ordos lacustrine basin

层位	含量, %							
	高岭石	伊利石	绿泥石	碳酸盐			硅质	长石质
				方解石	铁方解石	铁白云石		
长 6	0	7.00	0.72	0.19	3.22	1.96	0.97	0.13
长 7	0	10.47	0.25	0.02	2.64	1.65	0.89	0
长 8	0.45	3.62	2.19	0	5.20	0.07	1.45	0.10



白210井 2 042.65m



丹28井 1 078.76m

图 2 石英加大边包裹绿泥石膜

Fig. 2 Quartz secondary outgrowth with chlorite film

硅质胶结: 硅质沉淀需要偏酸性的和不断循环的孔隙介质及偏高的温度。延长组自生硅质以石英加大边为主, 部分沿孔隙壁呈自形微晶状或呈孔隙充填状。硅质胶结在早成岩阶段少见, 在晚成岩 A 期和 B 期则普遍发育, 尤其在晚成岩 A 期 I/S 有序混层带附近。延长组硅质胶结物形成过程中 SiO_2 的来源可能与长石溶解以及混层粘土矿物转化析出的 SiO_2 有关, 此外火山物质也可以提供硅的来源。

碳酸盐胶结: 研究区长 6—长 8 储层碳酸盐胶结物主要为铁方解石和铁白云石, 斑状分布, 充填孔隙。含铁碳酸盐胶结形成于偏碱性的介质条件下, 在晚成岩 B 期大量出现。通常砂地比越小, 砂岩中的含铁碳酸盐胶结就会越严重^[25]。

伊利石: 在富 K^+ 的碱性条件下有利于高岭石、蒙脱石、绿泥石向伊利石转化。自生伊利石往往呈毛发状、纤维状, 它常常使有效的孔隙变成无效的微孔, 大大降低储层的渗流能力。伊利石常见于晚成岩阶段的 B 期和 C 期。

根据上述分析可建立鄂尔多斯盆地延长组超低渗透储层主要成岩矿物的成岩序列。绿泥石膜—钠长石胶结—硅质胶结—含铁碳酸盐胶结—伊利石。不同阶段成岩环境也相应发生规律性的变化, 即随着烃源岩的成熟, 孔隙水由早期的中性(或偏碱性)变为弱酸性, 至晚成岩阶段中晚期, 生

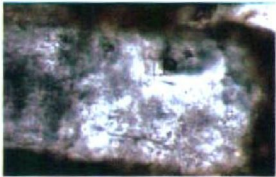
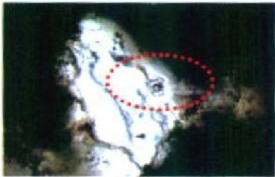
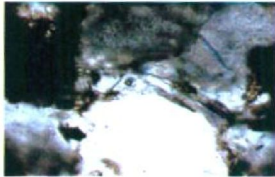
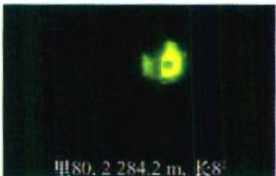
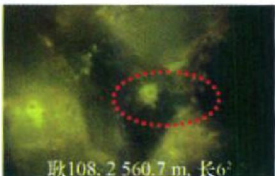
烃结束, 水岩作用导致孔隙水 pH 值又逐渐上升, 变为弱碱性。

2.3 烃类包裹体形成期次与油气成藏的关系

前人利用盆地模拟、地球化学等方法进行了埋藏史、地热史和生排烃史研究, 认为晚侏罗世早期, 鄂尔多斯盆地周缘大规模岩浆活动和盆内构造活动导致盆地经历了一期重要的热事件^[26], 延长组烃源岩开始成熟; 早白垩世为延长组最大埋深期, 烃源岩进入生排油高峰期, 油气大规模运聚成藏; 早白垩世末盆地整体抬升, 遭受剥蚀。

综合包裹体均一温度特征、烃类包裹体宿主矿物成岩序列及成藏关键时刻研究成果可以得到: 钠长石包裹体均一温度在 3 类包裹体中最低, 平均 94°C , 为早期生排烃作用的产物, 对应于晚侏罗世或早白垩世早期, 宿主矿物主要形成于晚成岩阶段的 A 期和 B 期; 石英加大边包裹体均一温度最高, 平均 104°C , 记录了早白垩世最大埋深阶段、生排烃高峰期大规模充注的地质信息, 宿主矿物主要形成于晚成岩阶段的 A 期和 B 期; 含铁碳酸盐包裹体形成最晚, 主要形成于晚成岩阶段 B 期, 其均一温度比石英加大边中包裹体均一温度略低, 平均 98°C , 为早白垩世末以后抬升降温过程中晚期充注的产物(表 3)。由于与最大埋深期温度相差不大, 因此应形成于抬升降温早期阶段。

表 3 烃类包裹体与油气成藏的关系
Table 3 Interrelation of hydrocarbon inclusions and hydrocarbon accumulation

包裹体宿主矿物	长石胶结物	硅质胶结物	含铁碳酸盐胶结物
成岩阶段	晚成岩阶段 A 期、B 期	晚成岩阶段 A 期、B 期	晚成岩阶段 B 期
胶结物含量, %	0 ~ 0.4	0.6 ~ 2.1	2.9 ~ 21.5
包裹体均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	94	104	98
介质条件	酸性		弱碱性
成藏阶段	晚侏罗世或早白垩世早期	早白垩世生排烃高峰期	白垩纪末抬升早期
包裹体照片			
	 里80, 2 284.2 m, 长8 $^{\circ}$	 耿108, 2 560.7 m, 长6 $^{\circ}$	 宁33, 1 685.5 m, 长7 $^{\circ}$

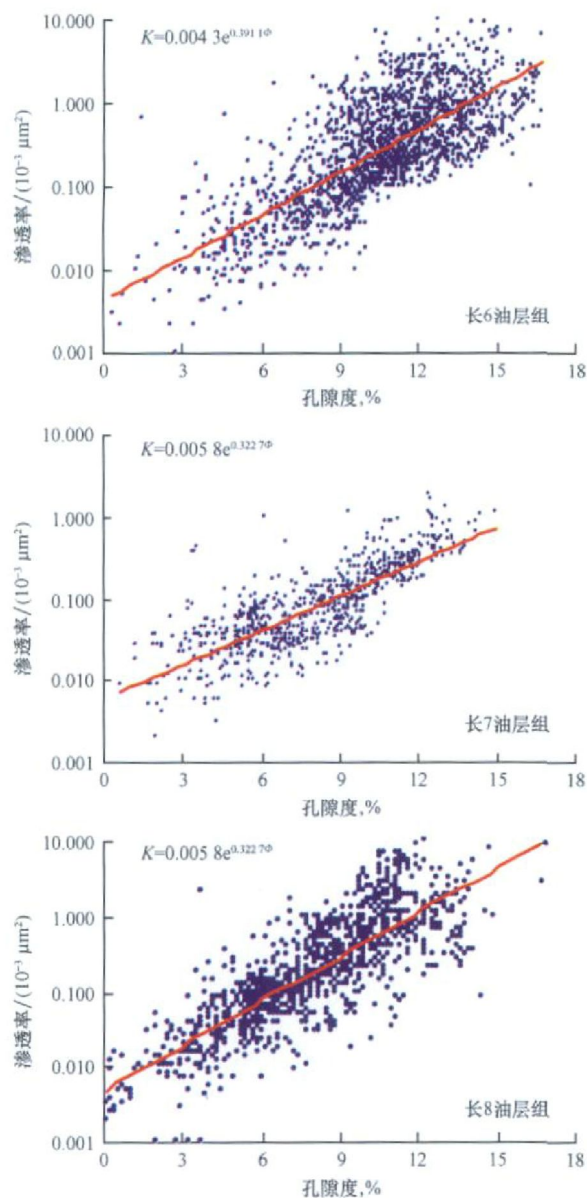


图 3 延长组长 6—长 8 储层孔隙度与渗透率关系

Fig. 3 Porosity vs permeability of Ch6–8 in the Yanchang Formation

3 生排烃高峰期储层物性特征

生排烃高峰期古物性恢复是建立在石英加大边烃类包裹体形成于生排烃高峰期的认识基础之上,通过判断主要成岩矿物与硅质胶结物形成的先后关系,结合储层现今物性特征,计算生排烃高峰期古孔隙度和古渗透率。

3.1 生排烃高峰期古孔隙度计算

鄂尔多斯盆地生排烃高峰期与最大埋深期均发生于早白垩世,因此生排烃高峰期后压实作用

基本停止,计算古孔隙度时可以不考虑后期压实损失的孔隙度。另外,成岩序列研究显示仅含铁碳酸盐胶结物和伊利石形成于石英加大边之后,由于伊利石母岩矿物也占据了孔隙空间,因此伊利石的形成对孔隙的影响不大。这样生排烃高峰期的孔隙度($\Phi_{\text{最大埋深}}$)近似的等于现今孔隙度($\Phi_{\text{现今}}$)加铁碳酸盐胶结损失的孔隙度($\Phi_{\text{铁碳酸盐}}$),即:

$$\Phi_{\text{最大埋深}} = \Phi_{\text{现今}} + \Phi_{\text{铁碳酸盐}} \quad (1)$$

目前,长 6、长 7、长 8 储层的孔隙度一般为 8.5% ~ 14.3%, 5.4% ~ 12.8%, 5.2% ~ 12.2%, 加上晚期碳酸盐胶结损失的孔隙度 5.2%, 4.3%, 5.3% (表 2), 计算生排烃高峰期孔隙度分别近似等于 13.7% ~ 19.5%, 9.7% ~ 17.1%, 10.5% ~ 17.5%。所以,最大埋深期储层孔隙相对比较发育,铁碳酸盐胶结是造成储层致密的决定性因素。

3.2 生排烃高峰期渗透率计算

统计结果表明,长 6~8 储层孔隙度和渗透率具有较好的指数相关关系(图 3)。其中:

$$\text{长 6 储层: } K = 0.0043e^{0.3911\Phi} \quad (2)$$

$$\text{长 7 储层: } K = 0.0058e^{0.3227\Phi} \quad (3)$$

$$\text{长 8 储层: } K = 0.0048e^{0.4536\Phi} \quad (4)$$

式中: K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; Φ 为孔隙度, %。

把前面求出的各油层组的孔隙度代入相应的渗透率-孔隙的关系式,即可得到长 6、长 7 和长 8 油层组生排烃高峰期的渗透率分别为 $0.6 \times 10^{-3} \sim 8.8 \times 10^{-3}$, $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-3}$ 及 $0.6 \times 10^{-3} \sim 13.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

需要说明的是,在古孔隙度恢复时未考虑粘土矿物向伊利石转化过程中孔隙的变化,但伊利石的形成对储层渗透率的影响不容忽视,它常常以毛发状、纤维状产出,使有效的大孔隙变成渗流能力较差的小孔隙或无效的微孔隙,很大程度地降低了储层的渗流能力。由于古渗透率是通过古孔隙度计算得出的,因此本方法只是对古渗透率保守的估算,生排烃高峰期储层渗流能力应更好。

4 结语

湖盆中部延长组储层中主要存在 3 种成岩包裹体类型,即石英加大边包裹体、钙质胶结物包裹

体以及钠长石包裹体。其中钠长石胶结物中包裹体均一温度最低, 烃类包裹体为早期充注的产物, 石英加大边烃类包裹体形成温度最高, 记录了早白垩世生排烃高峰期的地质信息, 含铁碳酸盐胶结物烃类包裹体形成较晚, 记录了早白垩世末以后抬升降温过程中晚期充注的信息。

虽然包裹体记录了早期油气充注的信息, 但包裹体宿主矿物的成岩矿物序列分析表明, 早期的油气充注规模有限, 并没有抑制成岩作用的深入进行, 晚成岩阶段形成的铁碳酸盐胶结物是造成储层致密化的决定性因素。生排烃高峰期, 湖盆中部长 6—长 8 储层中原生粒间孔隙保存较好, 超低渗、特低渗储层尚未形成。

参 考 文 献

- 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 3~9
- SY/T 6285—1997, 油气储层评价方 [S]
- 王瑞飞, 陈明强, 孙卫. 鄂尔多斯盆地延长组超低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征研究 [J]. 地质论评, 2008, 54(2): 270~277
- 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 28~53
- 王琪, 崔喜准, 陈国俊, 等. 鄂尔多斯西部长 6 砂岩成岩演化与优质储层 [J]. 石油学报, 2005, 26(5): 17~23
- 贾承造, 何登发, 陆浩民. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 121~125
- 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 126~132
- 李荣西, 席胜利, 邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 194~199
- 邓秀芹, 蔺昉晓, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨 [J]. 古地理学报, 2007, 10(2): 159~166
- 杨华, 邓秀芹, 庞锦莲, 等. 鄂尔多斯盆地延长组湖盆中部大型复合浊积体发育特征及浊积岩形成控制因素分析 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 2006, 36(增刊): 1~5
- 杨友运. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系和层序特征 [J]. 地质通报, 2005, 24(4): 369~372
- 曾少华. 陕北三叠系延长统湖盆三角洲沉积模式的建立 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(2): 230~235
- Dutkiewicz A, Rasmussen B, Buick R. Oil preserved in fluid inclusions in Archean sandstones [J]. Nature, 1997, 395(6705): 885~888
- Hall D, Shentwu W, temer M. Using fluid inclusions to explore for oil and gas [J]. Petroleum English Int, 1997, 70(11): 29~34
- Munz I A, Iden K, Johansen H, et al The fluid regime during fracturing of the Embla field, central through North Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 1998, 15(8): 751~768
- Rogers K M, Savard M M. Geochemistry of oil inclusions in sulfide related calcites fingerprinting the source of the sulfate reducing hydrocarbons of the Pb Zn carbonate hosted Jubilee deposit of Nova Scotia, Canada [J]. Applied Geochemistry, 2002, 17(2): 69~77
- 柳少波, 顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 326~342
- 施继锡. 流体包裹体作为天然气运移标志的研究 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(4): 185~193
- 陶士振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题 [J]. 地质科学, 2006, 39(1): 77~91
- 刘德汉. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具 [J]. 地学前缘, 1995, (4): 149~154
- 刘新社, 周立发, 侯云东. 运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏 [J]. 石油学报, 2007, 28(6): 37~42
- 潘立银, 倪培, 欧光习, 等. 中国塔里木盆地塔中北坡志留系多期石油充注——流体包裹体和有机地球化学证据 [J]. 岩石学报, 2007, 23(1): 131~136
- 孙少华, 李小明, 龚革联, 等. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究 [J]. 科学通报, 1997, 42(3): 306~309
- 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史 [J]. 地球物理学报, 1995, 38(3): 340~349
- 孙思敏, 罗家群. 南襄盆地南阳凹陷核桃园组储层中碳酸盐胶结物富集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 384~400
- 赵孟为, Hans Ahrendt Klaus Wemmer 等. 鄂尔多斯盆地志留—泥盆纪和侏罗纪热事件——伊利石 K-Ar 年龄证据 [J]. 地质学报, 1996, 70(2): 186~194

(编辑 高 岩)