

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.013

# 鄂尔多斯盆地定边油田樊学地区长 4+5 油层组 储层特征及物性影响因素研究

张刚,刘万明,韩迎鸽,杨玉东

(延长油田股份有限公司定边采油厂,陕西 定边 718600)

**摘要:**根据对鄂尔多斯盆地定边油田樊学地区长 4+5 储层特征、成岩作用及物性影响因素研究结果表明,长 4+5 储层岩性主要为岩屑长石砂岩、长石砂岩,分选性总体中等-较好,磨圆度较差。孔隙类型以残余粒间孔和溶蚀孔为主,分别占总孔隙的 59%、34%。孔隙度变化在 0.2%~17.6%,平均值为 8.5%;渗透率主要分布在  $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为  $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为特低孔特低渗储层。胶结物以方解石等碳酸盐胶结物、黏土矿物和硅质为主。原始沉积组分、碳酸盐胶结作用对储层物性具有重要的影响,塑性物质含量高的储层主要因压实作用变致密。碳酸盐胶结物含量高的储层因胶结作用变致密,刚性物质含量高的储层因刚性物质支撑作用保留较多残余粒间孔及易溶组分的溶蚀作用物性较好。长石、石英等刚性物质含量越高,千枚岩、板岩、云母等塑性物质和碳酸盐胶结物含量越低,储层物性越好。

**关键词:**鄂尔多斯;长 4+5 油层组;储层特征;储层物性;影响因素

中图分类号:TE122.2

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)02-0213-10

## Characteristics and Controlling Factors of the Reservoirs of 4+5th Member of Yanchang Formation in Fanxue area, Dingbian Oilfield, Ordos basin

ZHANG Gang, LIU Wanming, HAN Yingge, YANG Yudong

(Dingbian Oilfield, Yanchang petroleum Co., Ltd., Dingbian 718600, Shaanxi, China)

**Abstract:** Studies on the characteristics of the Reservoirs, lithology and the controlling factors of 4+5th member of Yanchang Formation in Fanxue area of Dingbian oilfield in Ordos basin show that the lithology of the reservoir of 4+5th member are mainly arkose and lithic feldspar sandstone, with sorting from medium to good, and a poor psephicity. The pore types are mainly residual intergranular pores and dissolution pores, accounting for 59%, 34% of the total pore respectively. The porosity of the reservoir ranges from 0.2% to 17.6%, with the average of 8.5%. The permeability ranges from  $0.1 \times 10^{-3}$  to  $0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , with the average being  $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . The main cements are carbonate, clay and quartz. The contents of sedimentary component, carbonate and clay cement have important impact on the reservoir quality. The reservoir with higher content of rigid particles, lower content of plastic particles and carbonate cement has

收稿日期:2019-05-08;修回日期:2019-10-20

基金项目:延长油田股份有限公司定边采油厂“樊学注水项目区精细油藏地质研究”(ycsy2017ky-C-04)

作者简介:张刚(1983-),男,陕西定边人,硕士,高级工程师,从事石油地质方面的研究。E-mail:28229410@qq.com

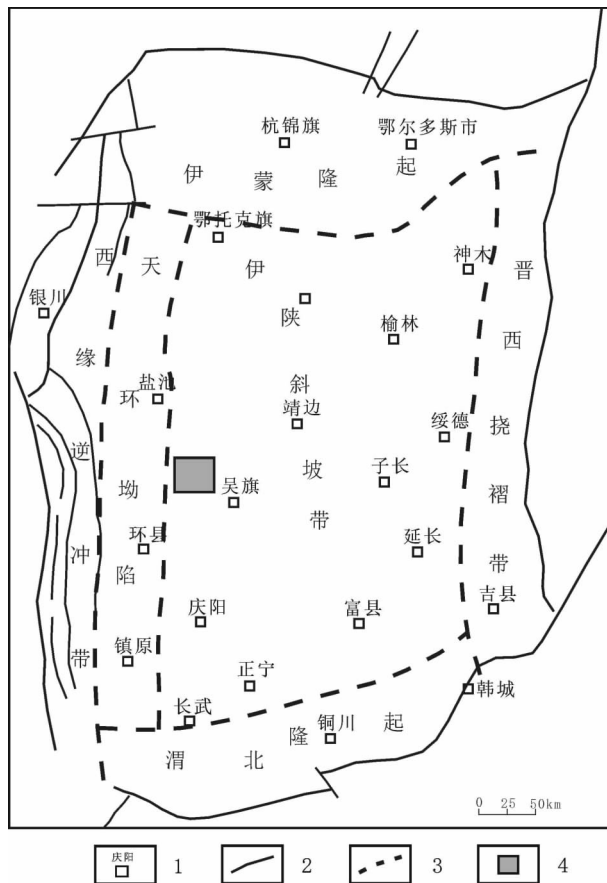
good quality. The reservoir with higher content of plastic particles has lower porosity and permeability because of compaction, while the reservoir with higher content of carbonate cement has lower porosity and permeability because of carbonate cementation. The porosity and permeability of reservoir increase with the higher content of rigid particles and the lower content of plastic particles and carbonate cements.

**Keywords:** Ordos basin; 4+5th member of Yanchang formation; characteristics of reservoir; porosity and permeability; controlling factors

三叠纪晚期,鄂尔多斯盆地经历了湖盆由发生、发展、消亡的整个演化过程(何自新,2003)。其中,长4+5油层组沉积时期为长6油层组沉积后的短暂湖侵期,湖水面积扩大,为浅-半深湖-三角洲沉积环境,三角洲建设进程趋于缓慢。长4+5油层组岩性主要为浅灰粉-细砂岩和含成分砂质泥岩的暗色泥岩组合,发育碳化植物碎屑,夹煤线,为延长组区域性盖层(苏复义等,2012)。因此,长期以来关于延长组储层、油气成藏等方面的研究主要集中于长2+3、长6-长10油层组(魏笑笑等,2018;FENG et al.,2018;宋健等,2019;朱谨谨等,2019),而对长4+5油层组相关的研究重视程度不足。

由于河流的能量、携沙量及发育的规模等原因,长4+5沉积在平面上表现出了明显的不均衡性,局部发育三角洲沉积体系,其中三角洲前缘的水下分流河道砂体是有利的勘探目标。定边油田樊学地区构造位置处于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中西部(图1),该区区长4+5主要为三角洲前缘亚相沉积,主要沉积微相有水下分流河道、河口坝和分流间湾或湖湾,局部发育水下决口扇和水下天然堤。其中,分流河道、河口坝微相砂体为有利储层,已发现大量岩性油藏,油气富集明显受控于沉积相带和储层物性控制,非均质性强。樊学地区长4+5油层组储层埋藏深度相对较大,多数为2000~2300 m,截止目前关于樊学地区长4+5油层组储层特征及储层物性的主控因素方面研究较少。

笔者选择樊学地区长4+5油层组为研究对象,对其储层岩石学、孔隙类型和物性、成岩作用等特征进行分析,以查明影响储层物性的主要因素,所获得的认识对有利目标预测和优选具有重要的参考意义(孙宁亮等,2019)。



1. 地名;2. 断层;3 构造单元边界;4. 研究区位置

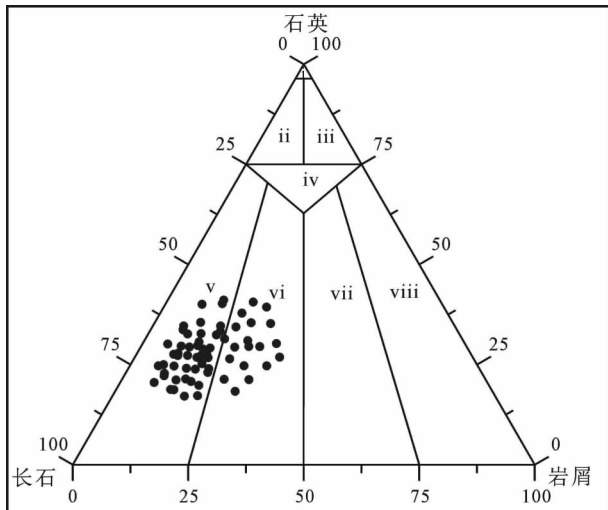
图1 研究区位置和构造简图

Fig. 1 The location of study area and structural map of Ordos basin

## 1 储层岩石学特征

研究区长4+5储层碎屑颗粒粒度一般为0.1~0.3 mm,主要为0.15~0.25 mm,粒度较细。砂岩分选性总体中等-较好;碎屑颗粒以次棱角状为主,磨圆度较差;砂岩结构成熟度中等-较差。砂岩中碎屑颗粒含量较高,碎屑成分一般占岩石总体的

60%~86%,大部分为70%~85%;石英占碎屑总体的15%~35%,长石约占25%~60%左右,以斜长石居多,碱性长石主要有微斜长石、条纹长石和正长石;岩屑一般为4%~24%,包括板岩、喷发岩、片岩、千枚岩、隐晶岩、泥岩等岩屑,未见花岗岩等岩屑发育。岩石类型主要为岩屑长石砂岩和长石砂岩(图2)。长4+5储层中的填隙物含量变化在6%~29%,包括绿泥石、伊利石、泥铁质、碳酸盐、石英质、长石质、沥青质等,还可见少量黄铁矿。碳酸盐胶结物主要包括方解石、铁白云石,偶可见铁方解石和白云石、菱铁矿,以绿泥石、伊利石、石英为主,少见高岭石。



- i. 石英砂岩; ii. 长石质石英砂岩; iii. 岩屑质石英砂岩;  
iv. 长石岩屑石英砂岩; v. 长石砂岩; vi. 岩屑长石砂岩;  
vii. 长石岩屑砂岩; viii. 岩屑砂岩

图2 研究区长4+5砂岩岩性判别三角图

Fig. 2 Triangular classification of Sandstone petrography of the 4+5<sup>nd</sup> member of Yanchang formation

## 2 孔隙类型与物性特征

延长组长4+5油层孔隙类型包括残余粒间孔、粒间溶蚀孔、粒内溶蚀孔、铸模孔、晶间微孔、解理缝和微裂缝等多种类型(图3)。

残余粒间孔隙是沉积物在埋藏成岩过程中原生粒间孔隙被填隙物部分充填改造后形成的孔隙或微孔隙。长4+5的残余粒间孔隙主要分成2类:一种表现为岩石颗粒被自生绿泥石膜所包裹(图3a),孔

隙内除少量的自生黏土外,并不发育其他的自生矿物,该类残余粒间孔隙多呈三角形或多边形,孔隙边缘整齐平直;另外一种残余粒间孔隙边缘不规整,绿泥石包膜不发育,孔隙内常出现相对较多的自生黏土矿物、碳酸盐胶结物等(图3b、图3c)。部分绿泥石包膜不发育的残余粒间孔颗粒边缘尤其是长石边缘常被溶蚀,形成粒间溶蚀孔(图3b、图3c),溶蚀的颗粒边缘极不规则,呈现港湾状的形态,孔隙形态复杂。

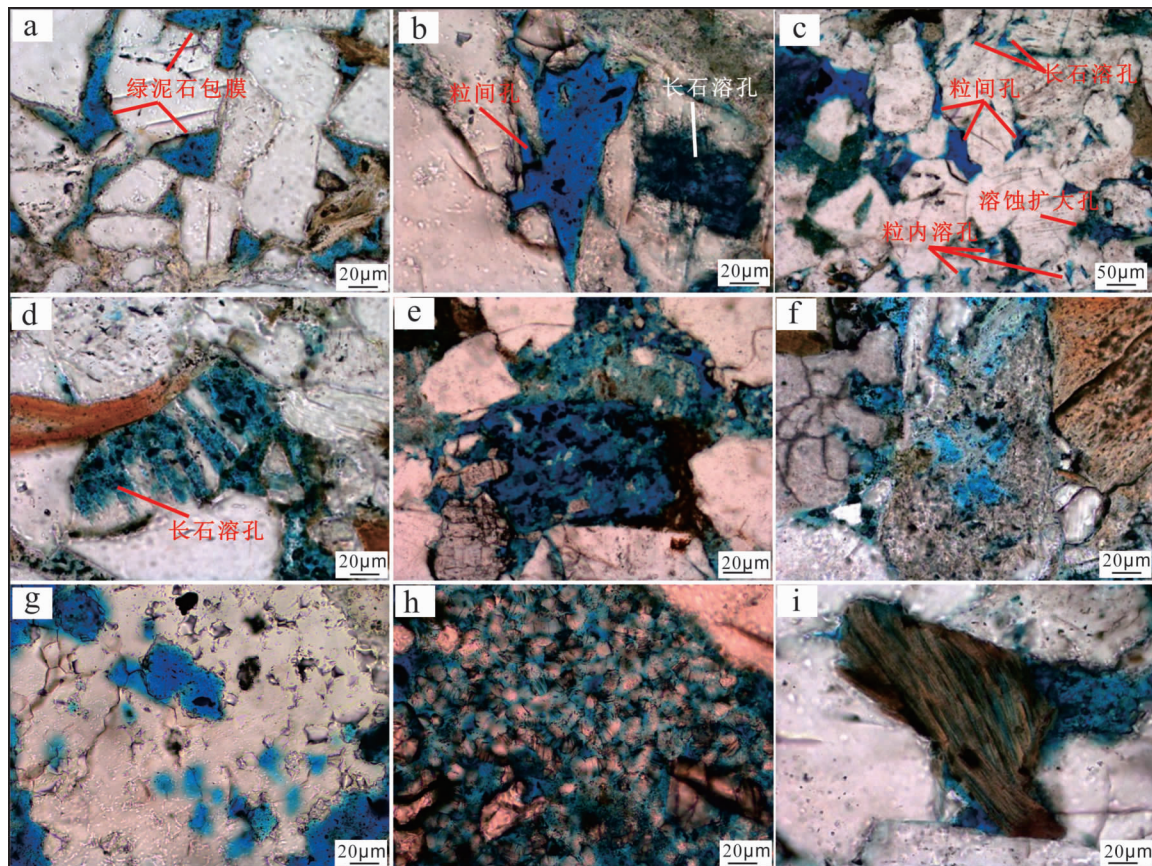
粒内溶蚀孔隙指砂岩中部分碎屑内部在埋藏成岩中发生部分溶解而产生的一类孔隙,该类孔隙多见于长石,少量岩屑、方解石和杂基中也可见粒内溶蚀孔(图3b、图3d、图3f、图3g)。长石粒内溶蚀孔相对发育,一般沿长石的解理缝形成溶蚀孔隙。粒内溶蚀孔隙也是研究区砂岩中主要孔隙类型之一,常与粒间溶蚀孔伴生,但分布极不均匀。

铸模孔指砂岩中的部分易溶碎屑发生全部溶解而保留其矿物晶体假象所产生的一类次生孔隙。研究区目的层段砂岩储层中发育部分铸模孔隙,多为长石或岩屑铸模孔隙,其中长石整体溶蚀的现象相对普遍(图3e)。铸模孔隙在砂岩储层中分布较为有限。

晶间微孔指砂岩在成岩过程中形成的分布于碎屑颗粒间自生矿物晶体间的微孔隙,主要包括自生绿泥石、自生高岭石、自生伊利石、伊蒙混层和钠长石等晶间微孔隙,该类型孔隙连通性较差,研究区主要的微孔隙是高岭石的晶间微孔(图3b)。此外,云母、长石、方解石等还发育解理缝(图3i)。

研究区长4+5储层的孔隙类型以残余粒间孔和溶蚀孔为主。残余粒间孔的面孔率介于0~10%,平均约为2.4%,占总孔隙的59%。溶蚀孔面孔率介于0~3%,平均为1.4%,约占总孔隙的34%。其中,溶蚀孔又以长石溶蚀孔为主,占溶蚀孔隙总的比例超过90%。晶间微孔和微裂缝约占总孔隙的7%。

长4+5储层岩心实测孔隙度介于0.2%~17.6%,主要分布在4%~13%,平均值为8.5%(图4a);渗透率主要分布在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图4b),最大达 $8.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,长4+5储层为特低孔特低渗储层。



a. 残余粒间孔,孔隙周缘发育绿泥石包膜;b. 残余粒间孔和长石溶孔,残余粒间孔周缘不发育绿泥石包膜;c. 粒间孔,长石溶孔、渗孳溶孔;d. 长石溶孔;e. 铸模孔和填隙物溶孔;f. 杂基溶孔;g. 岩屑粒内溶孔;h. 高岭石晶间孔;i. 云母解理缝和粒间孔

图3 研究区长4+5储层孔隙类型及特征图

Fig. 3 The types and characteristics of the pores in sandstone of the 4+5<sup>nd</sup> member

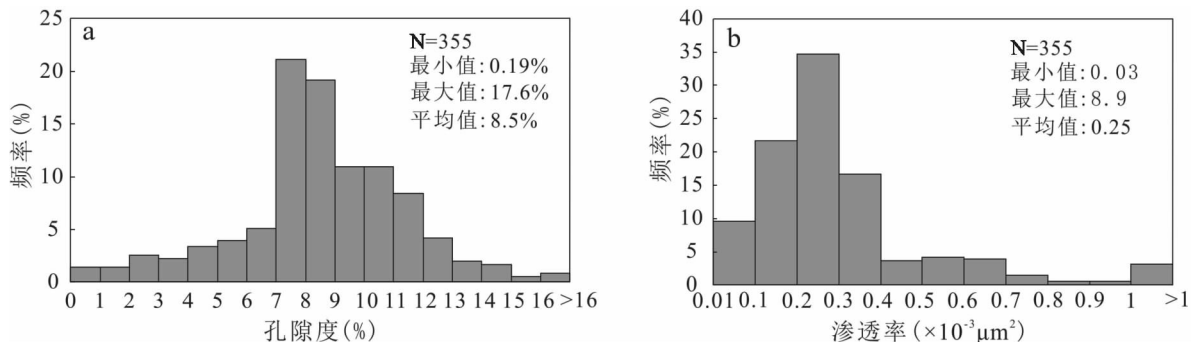


图4 (a)研究区长4+5储层岩心实测孔隙度、(b)渗透率统计直方图

Fig. 4 (a)The porosity and (b)permeability distribution histogram of sandstone of the 4+5<sup>nd</sup> member

## 3 成岩作用

### 3.1 压实作用

压实作用是碎屑沉积物进入准同生期以后,随着埋藏深度加大,上覆沉积地层加厚,负载压力逐渐加大,刚性颗粒在压实作用下相互挤压、旋转、错动、碎裂,塑性组分发生塑性变形,使颗粒间紧密接触的成岩作用(WORDEN et al., 2003)。一般机械压实的程度主要取决于沉积物所受到的覆压(垂直有效应力)和脆性颗粒与塑性颗粒之间比例这2个重要参数。研究区不同位置长4+5油层组埋深相差不大。因此,其塑性颗粒的塑性变形是沉积物原生孔隙损失的最重要控制因素,不同物性物质含量的储层的压实作用特征有所不同。石英、长石、方解石等刚性物质含量高的储层在压实作用下因颗粒支撑作用可保留部分原始粒间孔(图5a)。富泥或蚀变的火成岩或变质岩屑、泥质岩屑和云母等塑性物质抗压性较弱,在垂直有效应力的作用下一般会发生产粒或矿物的定向排列塑性变形而挤占原生孔隙,部分已经发生假杂基化,使储层致密(图5b)。

### 3.2 胶结作用

根据镜下观察发现,研究区长4+5砂岩储层胶结作用较发育,碳酸盐、硅质、长石质、黏土矿物常具胶结作用。此外,还可见少量菱铁矿和黄铁矿等,但胶结作用的类型、强度存在差异。

(1)碳酸盐胶结。碳酸盐胶结物是碎屑岩储层中最为常见的成岩自生矿物之一,碳酸盐胶结常使储层物性变差。根据显微镜下观察,研究区长4+5储层中的碳酸盐胶结物包括方解石、铁方解石、白云石、铁白云石和菱铁矿,以方解石和铁方解石为主(图5c、图5e、图5h)。碳酸盐胶结物含量为0~24%,平均值约为6.1%。其中方解石含量为0~20%,平均值约为4.1%。

长4+5储层中的方解石胶结物包括泥-微晶方解石、亮晶方解石和铁方解石3种。泥-微晶方解石在单偏光下均呈黄褐色,多出现于粉砂、细砂级砂岩中,呈基底式胶结;亮晶方解石结晶自形程度明显高于泥-微晶方解石,多呈连晶式胶结于粒间孔隙中,粒间体积大,碎屑颗粒未遭受强烈的压实改造,说明其形成于大规模机械压实作用之前;还有少量的亮晶方解石呈斑状、分散晶粒状分布充填于碎屑岩颗

粒之间。

(2)硅质胶结。硅质胶结物是碎屑岩储集层中常见的矿物之一。大部分沉积盆地中硅质胶结物均形成于60~145℃,即从成岩早期到成岩晚期硅质胶结作用都可以进行(WALDERHAUG, 1996)。砂岩储层内的硅质胶结物通常以2种赋存状态存在:一种为微晶石英附着在孔隙壁;另一种则为较常见的次生加大边。

研究区长4+5砂岩中石英胶结物存在2种赋存状态:一种以微晶自生石英生长于孔隙中;第二种为石英次生加大,即硅质胶结物围绕碎屑石英颗粒边缘发育(图5e),主要以加大边形式发育,但发育程度相对较低,平均含量约为1.3%。

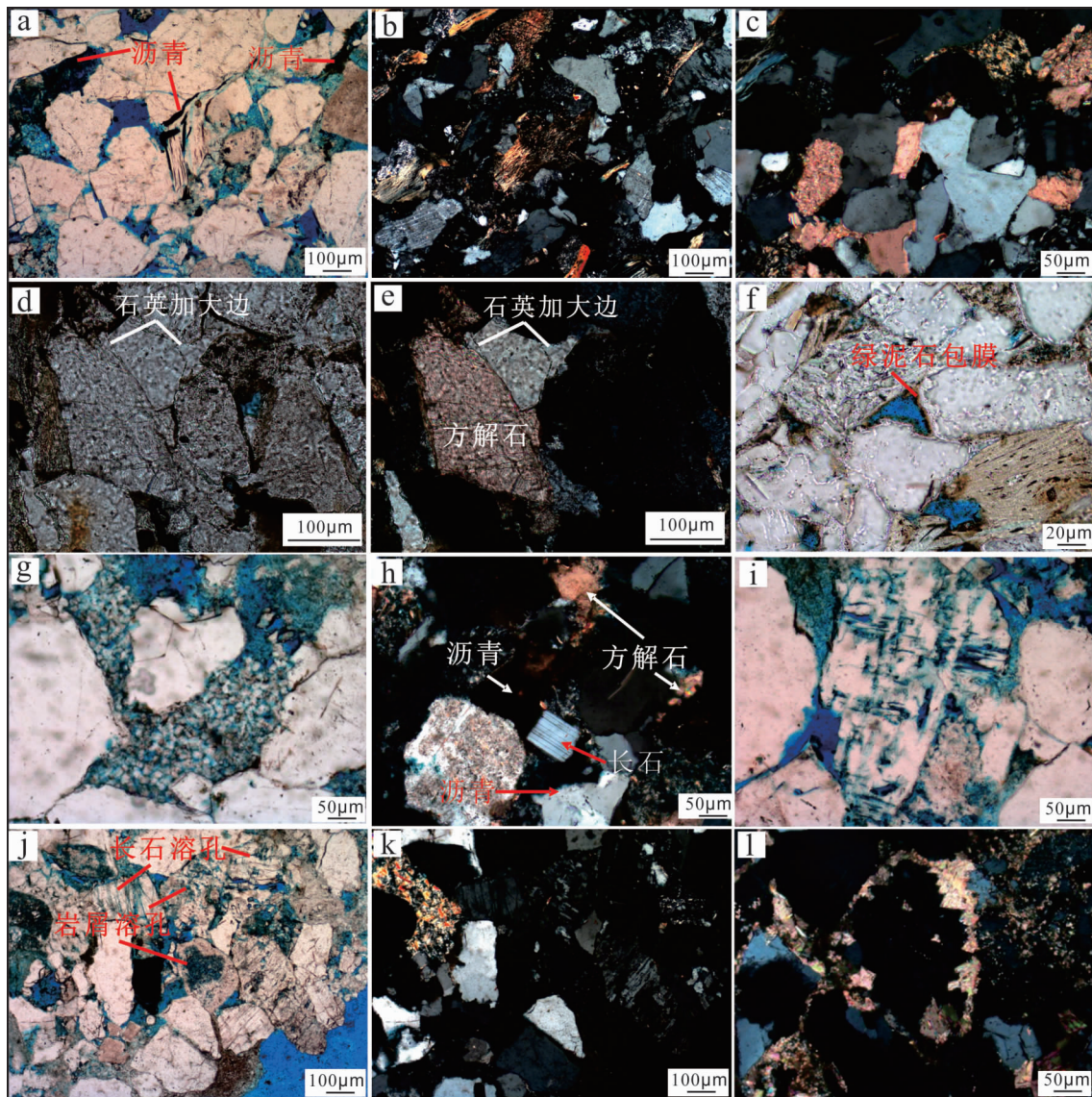
(3)黏土胶结。自生黏土矿物胶是指成岩过程中由砂岩内的火山物质或铝硅酸盐矿物等在孔隙水作用下,在原地转变为黏土矿物,或者由孔隙水带到附近孔隙内析出成新的自生黏土矿物。这类黏土矿物的形成是砂岩中原有矿物成分、孔隙溶液成分、pH值(流体环境)以及温压条件等共同作用的结果(WORDEN et al., 2003)。本次研究表明,研究区长4+5砂岩储层内自生黏土矿物广泛分布,主要包括高岭石、绿泥石、伊利石和伊蒙混层等。

自生高岭石是研究区长4+5砂岩中一种重要的自生黏土矿物,分布广泛,高岭石晶形发育较好,呈蠕虫状和手风琴状集合体充填于粒间孔内(图4h、图5g)。自生高岭石中晶间孔发育,可为后期流体活动提供孔隙空间。长4+5储层中自生高岭石平均含量约为0.5%。

绿泥石也是研究区长4+5砂岩中常见的黏土矿物,部分绿泥石以杂基呈分散状分布于粒间孔隙内,部分绿泥石以包膜包裹碎屑颗粒(图4a、图5f)。绿泥石包膜的单晶形态常为针叶状,其绿泥石平均含量约为2.7%。

另外,储层中还发育少量伊利石和伊蒙混层自生黏土矿物。

(4)其他胶结作用。研究区长4+5储层中还发育长石、菱铁矿和石膏等胶结物。自生长石主要为钠长石,以次生加大的方式生长在长石颗粒表面或充填孔隙中(图5h),平均含量约为0.5%。长石、菱铁矿、石膏等胶结物在研究区长4+5砂岩储层内仅少量发育,对砂岩储层质量的影响较小。另外,还可见相当的沥青充填孔隙(图5a、图5h)。



a. 刚性颗粒含量高,点-线接触,孔隙发育,单偏;b. 千枚岩、板岩、云母等塑性物质含量高,线-凹凸接触,压实作用使储层致密,正交;c. 方解石、硅质充填粒间孔,正交;d. 石英加大边和方解石胶结,单偏;e. 图d中的石英加大边和方解石胶结,正交;f. 绿泥石包膜发育在颗粒边缘,单偏;g. 高岭石充填孔隙,单偏;h. 长石、沥青和方解石充填孔隙,正交;i. 长石被溶蚀,正交;j. 岩屑、长石被溶蚀,单偏;k. 图j中的正交光下的照片;l. 方解石交代长石、石英颗粒和填隙物,正交

图5 研究区长4+5储层典型成岩作用图

Fig. 5 Diagenetic characteristics of the sandstone of the 4+5<sup>th</sup> member

### 3.3 溶蚀作用

常见次生孔隙可分成3种成因类型:一是酸性溶蚀孔,包括大气淡水下渗淋滤和有机质脱羧酸性流体溶蚀,主要导致长石、岩屑、碳酸盐胶结物等的溶蚀(黄思静等,1995);二是碱性溶蚀孔,半干旱-干旱环境下的盐湖沉积砂岩中保留的碱性孔隙流体导致石英、岩屑颗粒的溶蚀(邱隆伟等,2015);三是热循环对流溶蚀孔,在特殊地质条件下,孔隙流体发生

热循环对流,从而导致碳酸盐颗粒或矿物从低温区向高温区溶蚀转移,而石英从高温区向低温区发生溶蚀转移,形成局部的次生溶孔(田建锋等,2011)。

研究区长4+5砂岩的成分成熟度较低,主要以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,含有丰富的长石颗粒和岩屑。由于砂岩中的不稳定组分含量较高,易发生中-酸性溶蚀作用。研究区常见长石颗粒和胶结物的溶蚀作用,少量岩屑、杂基也可被溶蚀,部分

长石颗粒甚至全部溶蚀,形成多种类型的次生孔隙。据大量显微镜下观察统计,研究区长4+5砂岩中易溶组分主要为长石(图4b、图4c、图4d、图5i、图5j),其次为岩屑、云母碎片和粒间充填物等(图4c、图4e、图4f、图4g、图5j)。

### 3.4 交代作用

交代作用通常发生于成岩作用的各个阶段。交代矿物可以交代颗粒的边缘,也可以完全交代碎屑颗粒,从而成为它的假象。研究区长4+5砂岩内普遍存在方解石对长石、石英和岩屑颗粒的交代、碳酸盐矿物之间的相互交代和黏土对长石及岩屑颗粒的交代等(图5l)。碳酸盐矿物之间的相互交代主要表现为亮晶方解石交代早期的泥-微晶方解石、方解石交代菱铁矿、铁方解石交代亮晶方解石和白云石交代方解石等。碳酸盐矿物还可以交代部分充填物,如白云石交代砂岩孔隙内的黏土杂基。交代作用的实质是化学平衡及平衡转移问题,服从体积保持定律及质量作用定律,因此对储层质量的影响极为有限(PETTIJOHN et al., 1975)。

## 4 储层物性主要影响因素

### 4.1 差异压实作用对储层物性的影响

HOUSEKNECHT (1987) 和 LUNDEGARD (1992) 提出了压实作用和胶结作用对砂岩减孔率的估算方法。笔者利用上述方法分析了压实作用和胶结作用对研究区长4+5储层减孔率的影响,发现影响储层物性的主要因素存在差异(图6)。部分样品主要是因压实作用减孔,压实作用造成这部分储层的减孔率大于75%。通过分析研究区长4+5储层孔隙度、总面孔率、粒间孔面孔率与刚性颗粒、塑性颗粒含量的关系,发现长4+5储层孔隙度、总面孔率、粒间孔面孔率与石英、长石等刚性物质总含量存在着一定的正相关性,而与板岩、片岩、云母等塑性物质含量呈负相关性(图7a—图7f)。根据显微观察结果表明,主要因压实作用减孔的样品的千枚岩、板岩、喷发岩、云母等塑性物质含量高,压实过程中这些塑性物质很容易发生变形,挤占粒间孔隙,导致储层致密(图8a、图8b)。当储层中千枚岩、板岩、喷发岩、云母等塑性物质含量低而长石、石英等刚性物质含量高时,因刚性颗粒的支撑作用可保留大量残余粒间孔隙,其压实减孔作用相对较弱(图

8c、图8d)。

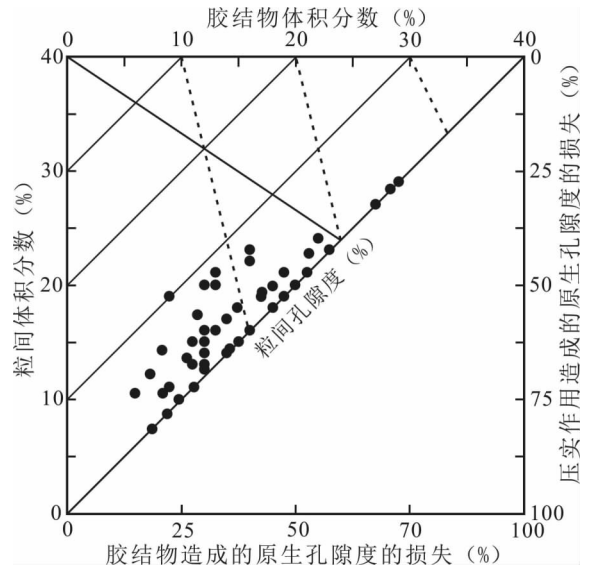


图6 胶结和压实作用对长4+5储层质量影响图

Fig. 6 Impact of compaction and cementation on sand-stone reservoir quality of the 4+5<sup>th</sup> member

### 4.2 胶结作用对储层物性的影响

由图6可见,部分长4+5储层主要因胶结作用导致物性变差,胶结作用造成的减孔率大于50%。胶结作用是一种破坏性的成岩作用,其常在粒间孔、溶蚀孔中沉淀,或在颗粒表面生长。因此,胶结作用会导致孔隙减少,物性变差。根据显微观察结果表明,胶结作用减孔率大于50%的样品中方解石等碳酸盐胶结含量较高,一般大于14%(图8e、图8f)。由碳酸盐胶结物、黏土矿物含量与孔隙度、总面孔率、粒间孔面孔率的相关关系图(图7)可见,碳酸盐岩胶结物含量与总面孔率、粒间孔面孔率、孔隙度均呈负相关关系(图7g、图7h、图7i),而黏土矿物含量与孔隙度、总面孔率、粒间孔面孔率则无明显相关性(图7j、图7k、图7l)。结合前述胶结作用的分析,胶结物主要以碳酸盐胶结物为主,其次为绿泥石、高岭石、伊利石等黏土矿物为主,方解石等碳酸盐胶结物在孔隙中沉淀往往导致储层致密(图8e、图8f)。而高岭石、伊利石等黏土矿物一方面发育大量晶间微孔(图3h、图4g),另一方面,绿泥石常以包膜形式发育于颗粒边缘,有利于阻止石英等矿物生长,保留残余粒间孔,或减缓压实减孔作用(图2a、图5f),从而导致黏土矿物含量与总面孔率、粒间孔面孔率、孔隙度相关性复杂。

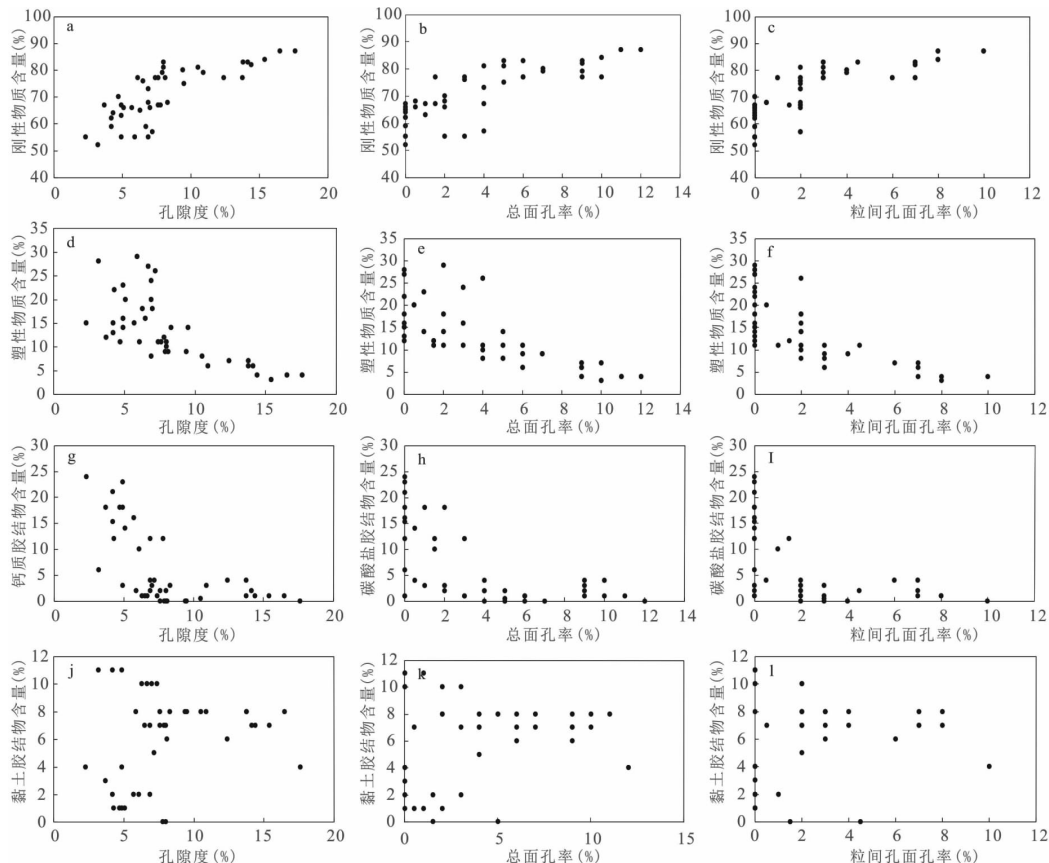
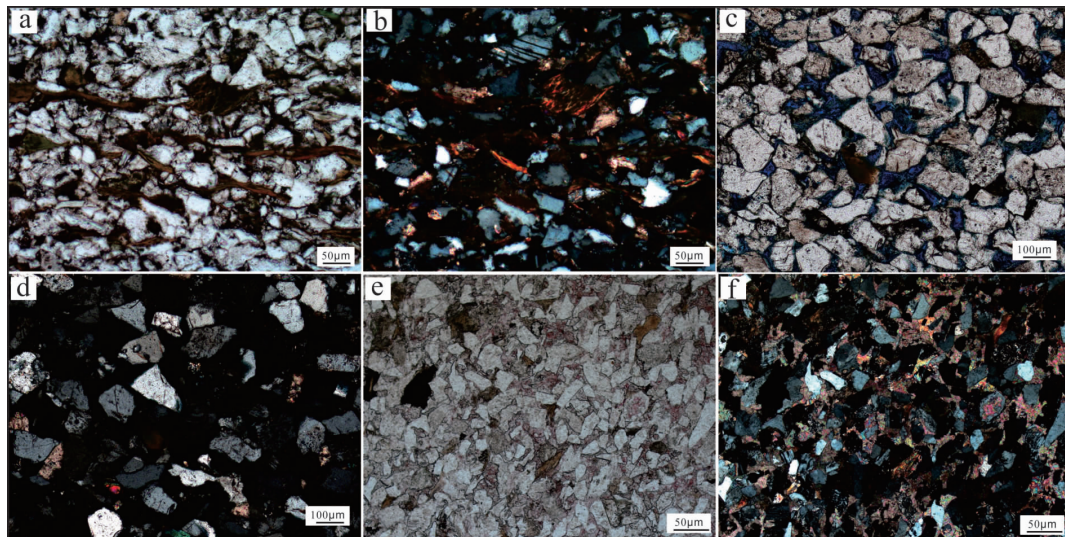


图7 研究区长4+5储层孔隙度、面孔率与刚性物质、塑性物质、胶结物含量交汇图

Fig.7 Cross-plot of the porosity and rigid particles, plastic particles, cement content of the sandstone in the 4+5<sup>nd</sup> member



a, b. 云母和塑性岩屑含量高的砂岩, 未见孔隙发育; c, d. 刚性颗粒含量高的储层, 塑性物质和碳酸盐含量低, 孔隙发育; e, f. 碳酸盐胶结物含量高的储层, 未见孔隙发育

图8 不同沉积组分和胶结物含量储层孔隙发育特征对比图

Fig.8 The characteristics of surface porosity of sandstones with different composition and carbonate cement content



### 4.3 溶蚀作用对储层物性的影响

溶蚀作用既可以发生在早成岩阶段,也可以发育在埋藏成岩阶段,这些溶蚀作用往往与有机质热演化释放二氧化碳和有机酸有关(SURDAM et al., 1984, 1989; 罗静兰等, 2006)。

对前述孔隙类型与特征、成岩作用分析发现,研究区长 4+5 砂岩中溶蚀孔也较发育,且溶蚀孔隙也主要发育在刚性颗粒含量高、塑性物质含量低,碳酸盐胶结物少、残余粒间孔相对发育的储层中。在埋藏成岩阶段,储层孔隙度的增加,需要其中的大量易溶矿物发生溶解,且由孔隙水迁移将其产物带出体系。因此,物质迁移的规模决定了溶蚀作用对储层孔渗条件的改善程度(CHUHAN et al., 2000; BJØRLYKKE et al., 2012)。由前述分析可见,储层中刚性颗粒越多,塑性物质越少、碳酸盐胶结物含量越低,则砂岩在成岩过程经历的压实作用强度越低,因而能保留较多的原生粒间孔隙,这些残余粒间孔有利于成岩流体的流动和物质迁移,且长 4+5 储层中长石含量高,为溶蚀作用提供了大量的物质基础。长 4+5 储层中溶蚀孔隙约占总孔隙的 34%,溶蚀作用对改善储层物性起着重要作用。

## 5 结论和认识

(1)樊学地区长 4+5 储层岩性主要为岩屑长石砂岩、长石砂岩,分选性总体中等-较好,磨圆度较差,碎屑颗粒组分和填隙物含量变化范围大,非均质性强;胶结物以方解石等碳酸盐胶结物和黏土矿物为主,平均含量分别为 4.1%、2.7%,硅质和长石胶结物平均含量分别为 1.4%、0.5%。

(2)长 4+5 储层孔隙类型以粒间孔为主,其次为溶蚀孔隙,溶蚀孔隙以长石溶孔为主。孔隙度为 0.2%~17.6%,平均值为 8.5%;渗透率主要分布在  $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为  $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为特低孔特低渗储层。

(3)原始沉积组分、压实作用、碳酸盐胶结作用是影响长 4+5 储层物性的主要因素,刚性物质含量高、塑性物质含量低、碳酸盐胶结物含量低的储层抗压能力强,残余粒间孔和溶蚀孔发育,且物性好。塑性物质含量高的储层因压实作用致密,碳酸盐胶结物含量高储层因胶结作用边致密。

## 参考文献(References):

- 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
- HE Zixin. The Evolution and Petroleum of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- 苏复义, 周文, 金文辉, 等. 鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分与分布评价[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 582-590.
- SU Fuyi, ZHOU Wen, JIN Wenhui, et al. Identification and Distribution of the Mesozoic Plays in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 582-590.
- 魏笑笑, 刘建朝, 刘晶晶. 鄂尔多斯盆地史家畔地区长 61 油层沉积微相研究及其对开发的影响[J]. 西北地质, 2018, 51(4): 255-262.
- WEI Xiaoxiao, LIU Jianchao, LIU Jingjing. Study on Sedimentary Microfacies and Impact on Development of Chang 61 Reservoir in Shijiapan Area, Ordos Basin [J]. Northwestern Geology, 2018, 51(4): 255-262.
- 宋健, 孟旺才, 邓南涛, 等. 鄂尔多斯盆地富黄地区延长组储层特征及物性影响因素分析[J]. 西北地质, 2019, 52(1): 98-108.
- SONG Jian, MENG Wangcai, DEN Nantao, et al. Features and Influencing Factors of Yangchang Formation Reservoir in Fuxian-Huangling Exploration Area, Erdos Basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(1): 98-108.
- 朱谨谦, 符超峰, 杨海龙, 等. 鄂尔多斯盆地甘谷驿油区延长组长 6 储层综合评价[J]. 西北地质, 2019, 52(1): 166-175.
- ZHU Jinjin, FU Chaofeng, YANG Hailong, et al. Comprehensive Evaluation of Chang 6 Reservoir from Yanchang Formation in Ganguyi Oil Area, Ordos Basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(1): 166-175.
- 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(3): 273-281.
- HUANG Sijing, XIE Lianwen, ZHANG Meng, et al. Formation Mechanism of Authigenic Chlorite and Relation to Preservation of Porosity in Nonmarine Triassic Reservoir Sandstones, Ordos Basin and Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(3): 273-281.
- 邱隆伟, 徐宁宁, 周涌沂, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地地区致密砂岩石英溶解作用及其对优质储集层的影响 [J]. 矿

物岩石地球化学通报, 2015, 34 (1): 38-44.

QIU Longwei, XU Ningning, ZHOU Yongyi, et al. Dissolution of Quartz in Tight Sandstones of the Daniudi Area, Ordos Basin, and Its Influence to High Quality Reservoirs [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2015, 34 (1) : 38-44.

田建锋, 刘池阳, 王桂呈, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂岩的碱性溶蚀作用 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2011, 36 (1) : 103-110.

TIAN Jianfeng, LIU Chiyang, WANG Guicheng, et al. Alkaline dissolution of Sandstone in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos basin [J]. Earth Science-Journal of China Univerdisty of Geoscience, 2011, 36 (1) : 103-110.

罗静兰, 刘小洪, 林潼, 等. 成岩作用与油气侵位对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响 [J]. 地质学报, 2006, 80 (5) : 664-673.

LUO Jinlan, LIU Xiaohong, LIN Tong, et al. Impact of Diagenesis And Hydrocarbon Emplacement on Sandstone Reservoir Quality of the Yanchang Formation (Upper Triassic) in the Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (5) : 664-673.

孙宁亮, 钟建华, 倪良田, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源分析及热演化 [J]. 中国地质, 2019, 46 (3) : 537-556.

SUN Ningliang, ZHONG Jianhua, NI Liangtian, et al. Provenance analysis and thermal evolution of Upper Triassic Yanchang Formation in the Southern Ordos Basin [J]. Geology in China, 2019, 46 (3) : 537-556 (in Chinese with English abstract).

CHUHAN F A, BJØRLYKKE K, LOWREY C. The Role of Provenance in Illitization of Deeply Buried Reservoir Sandstones from Haltenbanken and North Viking Graben, Off Shore Norway [J]. Marine and Petroleum Ge-

ology, 2000, 17 (6) : 673-689.

BJØRLYKKE K, JAHREN J. Open or Closed Geochemical System during Diagenesis Insedimentary Basin; Constraints on Mass Transfer During Diagenesis and the Prediction of Porosity in Sandstone and Carbonate Reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 2012, 96: 2193-2214.

FENG XU, DOU Wenchao, LIU Luofu, et al. Diagenetic Heterogeneity, Pore Throats Characteristic and their Effects on Reservoir Quality of the Upper Triassic Tight Sandstones of Vanchang Formation in Ordos Basin, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2018, 98: 243-257.

WORDEN R I, MORAD S. Clay Mineral Cements in Sandstones [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003.

WALDERHAUG O. Kinetic Modeling of Quartz Cementation and Porosity Loss in Deeply Buried Sandstone Reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80 (5) : 732-745.

PETTIJOHNF J, POTTER P E, SIEVER R. Sand and Sandstone [M]. New York: Springer-Verlag, 1972.

HOUSEKNECHT D W. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71 (6) : 633-642.

LUNDEFARD P D. Sandstone Porosity Loss: a "Big Picture" View of the Importance of Compaction [J]. Journal of Sedimentary Research, 1992, 62 (2) : 250-260.

SURDAM R C, BOESE S W, CROSSEY L J. The Chemistry of Secondary Porosity [A]. In: Macdonald D A, Surdam R C, Eds. Clastic Diagenesis [C]. AAPG Memoir 37, 1984: 127-151.

SURDAM R C, CROSSEY L J, HAGEN E S, et al. Organic-inorganic Interactions and Sandstone Diagenesis [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73 (1) : 1-32.