

Research on Evaluation Methods for Extremely-Low-Permeability Clastic Rock Reservoir

—Taking the Chang 6 Reservoir of Yanchang Formation in Ansai District as an Example

Xuan Ji, Lingling Xu, Fuhua Gong, Mengsha Yin, Ziheng Liu

School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan
Email: 510084768@qq.com

Received: Mar. 24th, 2014; revised: Apr. 9th, 2014; accepted: Apr. 22nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The characteristics of geological evolution in china determine that low-permeability oil and gas resource is abundant, widespread and has various types. In the rapid economic development of our country with energy shortage situation, intensifying the research and evaluation of low permeability reservoir, solving the problem of exploration and development of low-permeability reservoir, accelerating the increase in oil reserve and production to promote sustained and stable development of national economy have the realistic and scientific significance. Changqing Ansai oil field, the first large-scale development of low-permeability oil field, is a low-permeability oil field. In this paper, we take the Chang 6 reservoir of Yanchang Formation in Ansai district as an example to study low-permeability oil and gas distribution rules by depositional system. We can understand horizontal and vertical distribution of low-permeability reservoirs through refined sedimentary micro-facies analysis. The diagenetic evolution sequence and diagenetic facies distribution in the reservoir can be confirmed by the method of diagenesis analysis. Finally, through reservoir evaluation, we can recognize the reservoir pore structure and physical characteristics, establish the evaluation method of low-permeability reservoir and classification standard, optimize advantageous area and complete the reservoir prediction.

Keywords

Low-Permeability, Ansai Oilfield, Chang 6 Reservoir Set, Reservoir Evaluation

特低渗碎屑岩储层评价方法研究

——以安塞油田三叠系延长组长6油层组为例

纪璇, 徐岭灵, 龚福华, 尹梦莎, 刘子恒

长江大学地球科学学院, 武汉

Email: 510084768@qq.com

收稿日期: 2014年3月24日; 修回日期: 2014年4月9日; 录用日期: 2014年4月22日

摘要

中国的地质演化特点决定了中国的低渗透油气资源丰富, 分布广、类型多、资源量大。在我国经济快速发展但能源紧缺的情况下, 大力加紧低渗透储层的评价研究, 解决低渗透油层的勘探开发难题, 加快增储上产的步伐, 对促进国民经济持续稳定发展具有现实的和科学意义。我国第一个规模开发的低渗透油田——长庆安塞油田, 是一个特低渗透油田。本文以安塞油田三叠系延长组长6油层组为例, 从沉积体系研究低渗透油气田的分布规律, 通过精细的沉积微相分析, 了解低孔低渗砂体纵横向分布状况; 通过成岩作用分析, 确定储集体的成岩演化序列、成岩相分布; 通过储层评价, 认清储层的孔隙结构和物性特征, 建立低渗储层评价方法和分类标准, 优选有利区并完成储层预测。

关键词

特低渗, 安塞油田, 长6油层组, 储层评价

1. 引言

致密砂岩气藏具有低孔渗、连通性差的特点, 储层评价研究水平是有效开发该类气藏的关键因素。近年来, 综合构造地质学、石油地质学、沉积岩石学及各项先进测试技术进行储层地质学研究成为发展趋势。在宏观方面, 从构造运动、盆地类型、沉积型式、盆地热演化史等角度对储层进行综合研究; 在微观方面, 成岩作用、储层非均质性、低渗透储层等方面已经日益深化; 在实验技术方法上, 储层地球化学、图像处理技术、包裹体测温和核磁共振等新的技术方法都慢慢走上正轨。本文对低渗透储层评价的研究主要是通过对目的层位——安塞油田延长组长6油层组分析, 研究储层沉积微相的分布, 划分流动单元; 在盆地地质背景的前提下, 研究盆地地质构造和沉积相对含油储集体形成的控制; 在储层沉积学研究的基础上, 分析储集层的岩石学特征、孔隙发育特征; 在分析储层地球化学的基础上研究储层酸性介质的成因及其对矿物的溶解作用与次生孔隙的形成机制; 在分析储层油水聚集空间的基础上研究孔隙成因类型、裂缝分布特征及其控制因素; 在储层综合评价的基础上研究储层的非均质性, 分析砂岩储层的敏感性; 最终综合制定研究区储层评价标准。进一步开展压前储层评价, 使储层描述向高精度发展, 从而进行低渗透气藏相对高渗富集区优选, 科学合理布井[1]。本文资料来源于中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司下达的生产研究项目——志靖——安塞地区油藏类型、特征及产能评价研究。

2. 区域地质概况

本文的研究区安塞油田位于陕北斜坡中东部, 属于鄂尔多斯盆地中部。陕北地区区域构造背景为一

平缓的近南北向展布的西倾单斜(如图 1)。

本区长 6 油层组是鄂尔多斯盆地三叠系湖盆由鼎盛时期转入衰退阶段形成的三角洲沉积, 结合安塞油田生产实际, 根据标志层及沉积旋回将区内长 6 油层组进一步分为长 6₁、长 6₂、和长 6₃ 三个不同级别的小层[2], 地层厚度约为 110~125 m。主要含油层系长 6₁ 形成于三角洲建设高峰期, 砂体厚度大、分布稳定, 且处于长 7 湖相生油岩之上, 为油气运移的指向和储集场所, 其上长 4 + 5 大套泥岩形成了区域盖层, 构成了有利的生储盖组合。

3. 沉积特征

3.1. 物源分析

本研究区主要位于杏河 - 侯市 - 王窑 - 安塞地区, 属于河流 - 三角洲沉积体系。研究区重矿组合以石榴子石 - 榍石 - 绿帘石为主, 有少量的锆石; 重矿组合与之相近的母岩有: 内蒙呼市 - 集宁一带的大青山所出露的集宁群中高变质岩系(石榴子石、榍石及少量锆石)与色尔腾山群、二道凹群中低变质岩系(绿片岩相)(矿物组合有三组: 石榴子石、榍石; 帘石类和榍石、磁铁矿; 石榴子石、帘石类)。重矿物对比表明, 安塞油田三叠系长 6 油层组的物源为内蒙呼市 - 集宁一带的大青山地区。

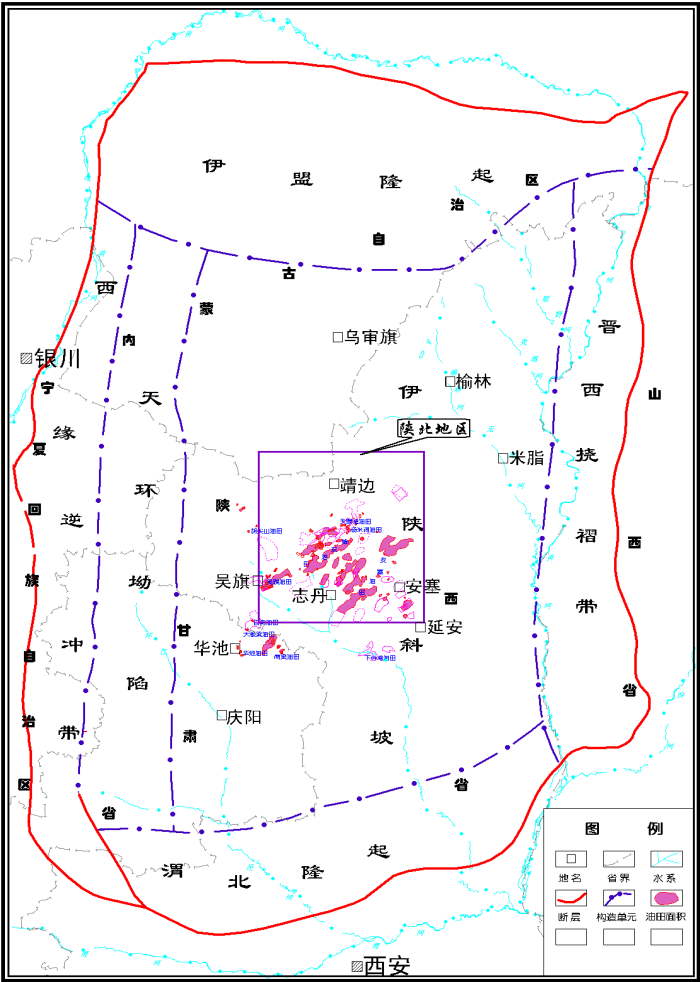


Figure 1. Tectonic zoning map of the Ordos basin
图 1. 鄂尔多斯盆地构造区划图

3.2. 沉积相标志

相标志反映了原始沉积环境中形成的各种沉积特征，主要的沉积相标志包括：沉积学标志、古生物学标志和地球化学标志。由于延长组长 6 油层组属陆相沉积环境，其地球化学标志并不明显，古生物学标志又较为单一，因此研究主要利用沉积学标志。

3.2.1. 岩性标志

延长组岩石由陆源碎屑岩组成，除露头剖面中有砾岩外，井下可见各种粒级砂岩及泥岩，颜色以灰白、暗灰、灰绿色为主。分流河道、水下分流河道、河口砂坝沉积主要由砂岩组成；而洼地、水下分流间湾、水上(水下)天然堤、前三角洲、湖泊以泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主，一般为砂泥不等厚互层，泥质岩相对较多。根据岩心观察，长 6 的砂岩以灰色、灰绿色、灰褐色长石砂岩、岩屑质长石砂岩为主，泥岩以黑色、灰黑色为主，表明长 6 时期水体为还原环境(图 2，图 3)。



Figure 2. Plug 170 1314.3 m chang6₁ feldspar quartz sandstone block bedding

图 2. 塞 170 井 长 6₁ 1314.3 m 长石石英砂岩块状层理



Figure 3. Plug 34 1398.98 m chang6₁ Siltstone parallel bedding

图 3. 高 34 井 长 6₁ 1398.98 m 粉砂岩平行层理

3.2.2. 沉积构造特征

研究区流动成因构造常见于泥岩、细粉砂质泥岩中，其中水平层理、波状层理、透镜状层理、沙纹层理主要发育于三角洲前缘的水下分流间湾、水下天然堤、远砂坝、前三角洲和浅湖等环境；冲刷面、平行层理、板状(槽状、楔状)交错层理发育在较强水动力的水下分流河道及河口砂坝和分流河道沉积中。同生变形构造主要包括负荷构造、包卷层理、滑塌变形构造，多出现在细砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩互层的岩性中；它们出现在砂岩与泥质粉砂岩互层的水上(水下)天然堤，河口坝以及三角洲平原分流河道上部。

3.2.3. 古生物特征

在研究区岩心观察中动物化石不常见，但可见植物茎干化石及其碎片，在深色泥岩中可见大量的垂直虫孔。

3.2.4. 单井岩石相组合特征

岩石相组合可以反映出单砂体形成过程中的水动力条件，不同的岩石相组合，往往反映不同的沉积微相。经过岩心观察发现，本区最常见 4 种岩石组合类型：正韵律砂岩相组合、反韵律泥岩相 - 粉砂岩相组合、正韵律暗色泥岩相 - 粉砂岩相组合、正韵律泥岩相与粉砂岩相组合。

3.3. 沉积微相分析

3.3.1. 沉积微相划分

鄂尔多斯盆地长 6 组是鄂尔多斯盆地的主力含油层之一，其岩性特征表现为河流 - 湖泊相的陆源碎屑岩。在延长期，随着湖泊面积的增长和消亡，在湖泊的边缘发育了众多的三角洲和扇三角洲沉积体系。此次研究区位于鄂尔多斯盆地的东北部，主要发育的是毯式浅水曲流河三角洲体系。毯式浅水曲流河三角洲平原及前缘面积均较大，前缘沉积顶面平缓倾斜，前积结构不明显，早期发育的河口坝易被后期的分流河道改造，前三角洲为正常浅湖相沉积[3]-[5]。本区上三叠统延长组长 6 油层组沉积体系类型主要有：曲流河浅水三角洲、湖泊(如表 1)。

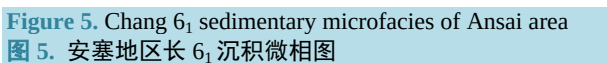
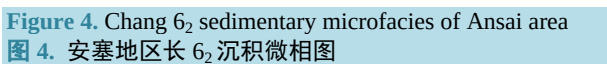
3.3.2. 沉积微相平面展布

研究区由曲流河形成的毯式浅水曲流河三角洲沉积特征突出。一是多水系同时发育，东北方向的物源最为重要，形成了由西向东发育的安塞三角洲朵状体，朵状体以 2~3 个较厚的反旋回沉积层序为显著标志，并由早期至晚期逐渐向湖盆沉积；二是长 6 期沉积格局与相带的展布虽继承前期的特点，但随着湖退，四周水系开始活跃，使得三角洲的沉积作用更加明显。长 6 期湖盆不断萎缩，其中，长 6₁ 沉积时期沉积的砂体厚度比长 6₂ 的厚，物性相对较好，为主力产油层段[6](图 4，图 5)。

Table 1. The sedimentary microfacies partition table in the study area

表 1. 研究区沉积微相划分表

相	亚相	微相
浅水三角洲	三角洲平原	1. 分流河道 2. 天然堤 3. 决口扇 4. 分流间洼地泥质沉积
	三角洲前缘	1. 水下分流河道 2. 水下天然堤 3. 水下决口扇 4. 河口坝(少) 5. 席状砂
	前三角洲	1. 前三角洲泥
湖泊	滨、浅湖	1. 浅湖泥 2. 风暴沉积 3. 水下河道
	深 - 半深湖	1. 半深湖泥 2. 浊流泥



4. 储层特征

4.1. 储层岩石学特征

以王窑地区、大路沟地区、吴起地区和西河口地区长 6₁ 为例，储层岩性主要为细粒长石砂岩。长石含量为 42.78%~52.16%，石英含量为 22.46%~29.18%，岩屑含量为 7.36%~12.53%。填隙物含量 11.89%~14.90%，平均为 13.11%，以绿泥石和碳酸盐矿物为主，未见高岭石。对储层物性有重要影响的浊沸石平均含量在 1.56%~7.33% 左右。

以王窑地区和吴起地区长 6₂ 为例，储层岩性为含泥细粒长石砂岩和含铁方解石细粒长石砂岩。长石含量范围在 48.94%~51.75%；石英含量在 21.99%~25.1%；岩屑含量为 10.55%~13.53%。填隙物含量较高，平均为 16%，以绿泥石、浊沸石及碳酸盐矿物为主。

研究区岩石碎屑颗粒分选较好，一般以次棱—次圆状为主，碎屑间为孔隙式胶结，点~线状接触。成分成熟度较低，但是结构成熟度均较高。碎屑岩多为较单一细粒级砂岩，其次为中砂岩。王窑地区的长 6 组，属于三角洲前缘亚相水下分流河道砂体叠置区，是水动力较强条件下的沉积，岩石粒径较粗，物性较好，可形较好的储层。吴起地区的长 6 组砂岩颗粒最细，因此物性相对较差，含油性也较差。这种结构成熟度与成份成熟度不统一的现象，与沉积物快速搬运、快速堆积有关。

4.2. 储层孔隙类型

通过岩心、薄片观察、扫描电镜分析发现研究区长 6 组孔隙类型可分为：剩余粒间孔、溶蚀孔(包括粒间溶孔、粒内溶孔、填隙物内溶孔、铸模孔)、自生矿物晶间微孔隙、裂缝四类(共 7 种)孔隙。研究区长 6 组主要空隙类型有粒间孔、溶蚀孔(表 2)。

4.3. 孔喉结构特征及评价

长 6 储层中，王窑地区长 6 孔隙结构类型主要为 II A 和 II B 型，I 类和 III A 分布很局限，属小喉——偏中型和偏小型；分选中等，垂向上孔隙结构变好，且长 6₁ 孔隙结构明显好于长 6₂。混合孔隙较发育，孔隙大小混杂，平均孔隙直径一般为 10~50 μm，连通性较好。大路沟地区的长 6 储层分选中等—差，仅在局部地方发育 I B 类型，III A 类分布也较少，II A 和 II B 类分布范围较广泛；由此说明本区孔隙结构

Table 2. Regional classification of pore types in the study area

表 2. 研究区各区域孔隙类型分类表

层位	面孔率%	粒间孔%	粒间溶孔%	长石溶孔%	岩屑溶孔%	沸石溶孔%	晶间孔%	微裂隙%
王窑长 6 ₁	6.60	4.96	0.00	0.81	0.13	0.79	0.17	0.08
	百分率	56.15	0.00	15.81	7.15	15.32	3.85	1.71
王窑长 6 ₂	3.96	2.46	0.00	0.69	0.31	0.67	0.17	0.08
	百分率	56.15	0.00	15.81	7.15	15.32	3.85	1.71
大路沟长 6 ₁	4.13	3.13	0.10	0.93	0.30	0.64	0.13	0.10
	百分率	58.77	1.88	17.40	5.64	11.99	2.44	1.88
吴起长 6 ₁	4.28	2.16	0.17	0.78	0.18	0.00	0.39	0.03
	百分率	58.16	4.56	21.11	4.75	0.00	10.64	0.79
吴起长 6 ₂	4.40	3.13	0.19	0.65	0.14	0.00	0.26	0.03
	百分率	71.02	4.29	14.80	3.25	0.00	5.86	0.79

类型以中等 - 差为主。吴起地区长 6 储层压汞实验表明长 6 孔隙结构类型主要为ⅡB 和ⅢA 型，属中等 - 差类型；孔隙结构属细孔、小喉——偏中型和偏小型；分选中等 - 差。纵向上，自下往上孔隙结构变好。其混合孔隙较发育，微孔隙较多，连通性较好，在长 6 中储层相对较差(表 3)。

4.4. 储集空间及物性评价

根据鄂尔多斯盆地储层孔渗分类标准(表 4)，结合本区试油资料，分析可知研究区储层孔隙度一般为 10%~15%，渗透率平均值在 0.5 mD~2 mD 左右，因此该区为低孔、特低渗—超低渗储层。位于长 61 物性比长 62 好，这与长 61 砂体比较发育是一致的，在王窑地区，三角洲前缘亚相水下分流河道微相沉积的砂体是主要储集体，位于主砂体带的储层，其储集性能相对较好，而边部储层性能逐渐变差。反映在物性上，以水下分流河道微相物性较好，按所处部位尤以河道中心主流线部位最好。一般随着砂体埋深的增加，压实作用逐渐加强，储层的孔隙度和渗透率总体呈降低趋势；但由于砂体各层的沉积相带不同，以及成岩作用的不均一性作用，又使储层孔隙度、渗透率在部分层段出现增大的现象。

5. 成岩研究

5.1. 成岩作用类型及特征

通过研究井区普通薄片、铸体薄片的镜下观察及扫描电镜、阴极发光、X 衍射实验，对各种成岩组

Table 3. Classification of pore structure evaluation level in Ansai oilfield
表 3. 安塞油田孔隙结构评价级别分类表

孔隙结构		I A	I B	II A	II B	III A	IIIB	IV
物性	孔隙度(%)	>15	14~15	12~14	10~12	8~10	6~10	<6
	渗透率(mD)	>10	3~10	2~3	1~2	0.5~1	0.3~0.5	<0.3
	排驱压力(MPa)	<0.1	0.1~0.25	0.25~0.4	0.4~0.8	0.8~1.3	1.3~3	>3
压汞参数	中值压力(MPa)	<0.375	1~0.375	1~1.88	1.88~3.75	3.75~7.5	7.5~18.75	>18.75
	最大喉道半径(μm)	>7.5	3~7.5	1.8~3	1~1.8	0.7~1	0.25~0.7	<0.25
	中值半径(μm)	>2	0.5~2	0.4~0.5	0.2~0.4	0.1~0.2	0.04~0.1	<0.04
	最大进汞饱和度(%)	>90	85~95	80~90	75~85	75~80	60~70	<60
	毛管曲线形态	分选较好，粗歪度	分选较好，较粗歪度	分选偏中，较粗歪度	分选偏中 - 差，略细歪	分选差，较细歪度	分选差，细歪度	分选差，细歪度

Table 4. Classification of reservoir porosity and permeability in Ordos basin
表 4. 鄂尔多斯盆地储层孔隙度及渗透率分类表[7]

孔隙度(%)	级别	渗透率(10~3 μm ²)	级别
φ > 30	特高孔	K > 2000	特高渗
25 ≤ φ < 30	高孔	500 ≤ K < 2000	高渗
15 ≤ φ < 25	中孔	100 ≤ K < 500	中渗
10 ≤ φ < 15	低孔	10 ≤ K < 100	低渗
φ < 10	特低孔	K < 10	特低渗
		K < 1	超低渗

分、孔隙类型和自生矿物组合等详细研究,可知鄂尔多斯盆地延长组砂岩的成岩作用已到中-晚成岩阶段,其主要的成岩作用主要包括以下几种:压实作用、胶结作用、交代作用、溶蚀作用以及重结晶作用等。成岩作用类型多,现象也较为复杂。其中,主要成岩作用为压实作用、胶结作用和溶蚀作用,特别是绿泥石胶结对孔隙发育及储集性能影响较大。

绿泥石是储集层中最重要的粘土矿物(含量 > 80%)。常以胶结物的形式存在于颗粒之间,常以集合体产出,自形程度高,根据其晶体排列方式和与颗粒的接触关系,研究区可识别出两种典型产状(图 6(a)、(b)),一是孔隙衬里绿泥石,生长于孔隙接触的颗粒表面,自形程度较好。这种绿泥石薄膜一方面使孔隙度降低,另一方面可阻碍孔隙水与颗粒的进一步反应,限制石英次生加大,有利于原生孔隙的保存。另一种为孔隙充填式绿泥石,分布于孔隙衬里绿泥石上或其他胶结物表面,充填孔隙,晶体较大,自形程度高[8]-[10]。研究区延长组砂岩中绿泥石多以孔隙充填式呈叶片状生长并进入孔喉空间,封闭微孔隙或喉道,使得储集空间减少,造成渗透率下降。

上述两种典型绿泥石的分布与沉积微相有关,孔隙衬里(或薄膜)绿泥石多见于三角洲前缘亚相的水下分流河道微相区(长 6 组),砂岩物性相对较好;孔隙充填式绿泥石在三角洲水下天然堤微相中的细粒-极细粒砂岩中分布普遍,砂岩物性普遍较差。

5.2. 成岩阶段确定

研究区目的层的镜质率反射率 0.77%~0.99%,地温 88℃~110℃。通过镜下观察,推断砂岩普遍经历了较强的压实作用,原生孔隙大范围消失,颗粒之间为线式接触。并且浊沸石和长石溶蚀现象显著,孔隙多被铁方解石充填[9]。所以综合认为,研究区长 6 油层组砂岩整体进入中成岩阶段 A 期。由于长 6 油层组部分砂岩检测出了铁白云石,铁白云石可作为中成岩阶段 B 期的标志,也可认为长 6 油层组部份砂岩已经进入到了中成岩阶段 B 期。

5.3. 成岩相分析

研究区成岩相可分为以下四类:浊沸石溶蚀相、绿泥石薄膜-长石溶蚀相、钙质-泥质胶结相、浊沸石胶结相。浊沸石溶蚀相和绿泥石薄膜-长石溶蚀成岩相能形成大量的次生孔隙,进而形成储层;浊沸石胶结相可成为盖层;钙质-泥质胶结相虽然存在较多微孔隙,但由于杂基过多、颗粒过细,对储层

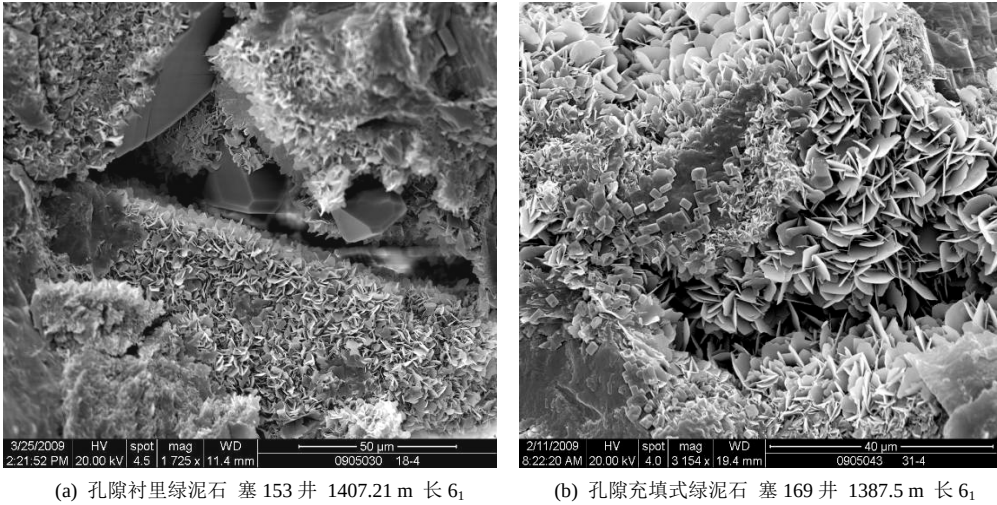


Figure 6. Chlorite electron micrograph of Wangyao oilfield
图 6. 绿泥石电镜照片王窑油田

改善程度低,后期经成岩作用变得更致密,孔隙消失,储层性能变差,可成为盖层。

6. 储层分类及评价

储层分类评价是储层研究工作中极为重要的综合性工作。流体在储层中的渗流性能取决于孔隙的连通情况和连通孔隙的喉道的粗细程度、分选情况。在结合长 6 油层组物性、孔隙类型、压汞参数等资料的基础上,根据这些参数,首先制定出符合延长组的储层评价参数,然后再并对长 6 油层组的储层进行分类(见表 5)。

结合研究区各个区域的不同层位的岩石样品的压汞测试数据,对储层特征和控制因素进行了分析。其中 I 类储层在长 6 储层中仅见于个别井区,岩性为中到中细粒砂岩,分选较好,喉道较粗,具有较高的渗透率,多位于三角洲平原亚相的分流河道砂体,与浊沸石溶孔发育有关,达到 7%,面孔率达到 9.1%,是长 6 中最好的储层。II、III 类储层主要发育安塞地区王窑长 6 储层,岩性以极细-细粒长石砂岩、长石岩屑砂岩为主,原生孔隙分布不均匀、次生孔隙不发育,具有较低的渗透性,与浊沸石溶蚀以及长石溶蚀有一定关系,压实改造较强的三角洲前缘水下分流河道以及水下天然堤等微相砂体,属于该类储层。IV 类储层为微孔微喉超低渗差储层,岩性以粉细粒长石砂岩为主常位于远砂坝和席状砂砂体。

I、II、III 类储层一般都为有效储层。IV 类储层大部分为非有效储层。若有裂缝带发育,也可形成有效储层,多发育在长 6 层浊沸石胶结区或着泥质-钙质胶结区。

Table 5. The standard of yanchang set sandstone reservoir evaluation in the Ansai area

表 5. 安塞地区延长组砂岩储层评价参数

分类参数		I 类储层		II 类储层		III类储层		IV类储层
		I A 类储层	I B 类储层	II A 类储层	II B 类储层	IIIA 类储层	IIIB 类储层	IV类储层
物性	孔喉类型	大孔、大喉型	大孔、中喉型	中孔、小喉型	中孔、小喉型	小孔、小喉型	小孔、小喉型	微孔微喉型
	孔隙度(%)	>15	14~15	12~14	10~12	8~10	6~8	<6
	渗透率(mD)	>10	3~10	2~3	1~2	0.5~1	0.3~0.5	<0.3
	排驱压力(MPa)	<0.1	0.1~0.25	0.25~0.4	0.4~0.8	0.8~1.3	1.3~3	>3
压汞参数	中值半径(μm)	>2	0.5~2	0.4~0.5	0.2~0.4	0.1~0.2	0.04~0.1	<0.04
	最大进汞饱和度(%)	>90	85~95	80~90	75~85	75~80	60~70	<60
	面孔率(%)	>10	8~10	6~8	5~6	3~5	2~3	<2
	填隙物含量	<6.00	6.00~8.00	8.00~10.00	10.00~12.00	12.00~14.00	14.00~16.00	>16.00
铸体薄片	平均孔径(μm)	>100	80~100	60~80	50~60	30~50	10~30	<10
	孔隙组合	原生粒间孔、溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 溶孔	原生粒间孔、溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 溶孔	溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 溶孔、粒间孔 - 微孔型	溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 溶孔、粒间孔 - 微孔型	溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 微孔型	微孔、粒间孔 - 微孔	微孔
	主要成岩相	绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石强溶蚀相	绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石强溶蚀相	绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石轻溶蚀相	绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石轻溶蚀相、浊沸石胶结相	绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石溶蚀相、浊沸石胶结相、泥质钙质胶结	浊沸石胶结相、泥质钙质胶结	浊沸石胶结相、泥质钙质胶结

7. 结论

本文从区域地质概况、沉积特征研究、储层特征研究、成岩研究、储层分类及评价几个方面对特低渗碎屑岩储层评价方法进行了综述，并通过王窑地区长 6 油层组的 65 口井的实例分析得出以下结论

- 1) 安塞地区发育浅水三角洲沉积。分流河道及水下分流河道为主要的储集体；砂体垂向上与泥岩间互，纵向叠置，平面上相间排列。
- 2) 残余粒间孔为主，溶蚀孔隙为辅；溶蚀作用利于低渗透储层的改善，特别是长石、浊沸石溶蚀形成的次生孔隙砂体多为富油区。浊沸石溶蚀是长 6 油藏形成的关键；
- 3) 研究区长 6 组多为 II、III 类储层，孔隙类型以溶孔 - 粒间孔、粒间孔 - 溶孔、粒间孔 - 微孔型为主。成岩相多为绿泥石薄膜 - 长石溶蚀相、浊沸石轻溶蚀相、浊沸石胶结相组合。

基金项目

长江大学 2012 年“大学生创新性训练实验计划项目”（项目编号：2012502）资助。

参考文献 (References)

- [1] 谷江锐, 刘岩 (2009) 国外致密砂岩气藏储层研究现状和发展趋势. *国外油田工程*, **25**, 1-3
- [2] 赵虹, 党犇, 靳文奇, 等 (2004) 安塞油田长 6 油层组精细地层划分与对比. *西北大学学报(自然科学版)*, **4**, 461-463.
- [3] 吴崇筠, 薛叔浩 (1993) 中国含油气盆地沉积学. 石油工业出版社, 北京, 268-293.
- [4] 林壬子, 张金亮 (1996) 陆相储层沉积学进展. 石油工业出版社, 北京, 97-127.
- [5] 裴怿楠, 薛叔浩, 应凤祥 (1997) 中国陆相油气储集层. 石油工业出版社, 北京, 158-219.
- [6] 张金亮, 司学强, 秦敬 (2003) 安塞油田王窑地区长 6 油层沉积微相研究. *西北地质*, **3**, 62-71.
- [7] 赵澄林, 胡爱梅, 陈碧珏, 等 (1998) 中华人民共和国石油天然气行业标准, 油气储层评价方法(SY/T6285-1997). 石油工业出版社, 北京, 16.
- [8] 赵澄林, 刘孟慧 (1988) 砂体微相和成岩作用. 华东石油学院出版社, 东营, 1-191.
- [9] 郑浚茂, 庞明 (1989) 碎屑储集岩的成岩作用研究. 中国地质大学出版社, 武汉, 53-129.
- [10] 应凤祥 (2004) 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟. 石油工业出版社, 北京, 91-100.