

# 基于核磁共振技术的储层微观特征分类评价 ——以王龙庄油田阜宁组为例

周巨标

(中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 采油三厂, 安徽 天长 239300)

**摘要:**储层分类评价对于油田开发具有重要意义,而核磁共振技术在储层评价中的应用越来越广泛。利用核磁共振、扫描电镜、重矿物、薄片等实验数据,采用记点统计、离心截止值筛选、T<sub>2</sub>弛豫时间分析等方法对王龙庄油田的储层特征进行研究,认为储层的岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,原生粒间孔隙是王龙庄油田主要储集空间。油田内部各小断块储层类型差异体现了孔隙结构强非均质性的特点。结合沉积微相、物性以及核磁共振等微观实验,将储层分为 3 类,其中阜二段三亚段滩坝砂体对应 A 类孔隙结构,属物性较好的 A 类储层,该类储层是王龙庄油田的优质储层,该认识对指导王龙庄油田的调整开发具有现实意义。

**关键词:**阜宁组储层;孔隙结构;核磁共振;分类评价

中图分类号: TE122

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2016)02-0008-08

## Reservoir Characteristics and Classification Evaluation Based on NMR Technology: An Example of Funing Formation in Wanglongzhuang Oilfield

ZHOU Jubiao

(The Third Oil Production Plant of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Tianchang, Anhui 239300, China)

**Abstract:** Nuclear magnetic resonance (NMR) technology is finding wider and wider application in reservoir classification evaluation, which is of great significance for oilfield development. Based on experimental data of NMR, scanning electron microscopy, heavy mineral, and thin section, this paper studied the reservoir characteristics of Wanglongzhuang oilfield by using methods of point statistics, offcenter cutoff value screening and T<sub>2</sub> relaxation time analysis. It has been found that with Feldspar sandstone and lithic feldspar sandstone as the main rock types, intergranular pore serves as the main reservoir space in Wanglongzhuang oilfield. The reservoir type differences of small fault block indicate the pore structure and strong heterogeneity in the oilfield. Combined with microscopic experiments of sedimentary microfacies, physical properties and nuclear magnetic resonance, the reservoir can be divided into three categories. Among them, the F<sub>2</sub><sup>3</sup> formation beach bar sand body, corresponding to the better pore structure of class A, belongs to class A reservoir with better physical property. This type of reservoir is the high quality reservoir of Wanglongzhuang oilfield. The result has practical significance to the development adjustment of Wanglongzhuang oilfield.

**Key words:** Funing formation; pore structure; NMR; classification evaluation

目前,在相控基础上,应用铸体薄片、扫描电镜等微观资料开展储层综合评价技术已经非常普遍<sup>[1]</sup>,但这种评价仅建立在孔隙结构和相控储层基础上,是一种对孔隙结构和储层物性的静态评价,难以分析孔隙内饱含的流体类型和各类流体的相对渗流特征<sup>[2]</sup>。核磁共振技术能够提供丰富的储层信息,可有效评价储层孔

收稿日期: 2016-01-04

作者简介: 周巨标(1967—),男,广东新兴人,高级工程师,主要从事油田开发及油田信息化技术管理、标准化及质量管理体系管理工作。E-mail: zhoujb.jsyt@sinopec.com

隙性质、流体特征,在石油工业领域得到广泛应用,如井下核磁共振成像测井、油水界面张力测试、录井、孔隙度渗透率测试、吼道半径测试等等,核磁共振可从一个岩样中得到多个参数,同时不损害岩心,并可以重复利用,该技术在石油工业中应用具有强大优越性。

王龙庄油田阜宁组储层发育一套砂岩与碳酸盐岩相结合的双岩相地层,分为 13 个独立断块。每个断块各有特点,储层性质各有不同。该油田是低渗透复杂小断块油藏的典型代表,内部各断块具有“小规模、低含油、碎断块、散分布”的特点<sup>[3]</sup>。但在油田开发过程中存在储层认识不足、开发模式单一等问题<sup>[4]</sup>。因此,开展阜宁组储层微观孔隙结构分析和孔隙内流体渗流特征评价对油田制定和调整开发对策具有重要意义。

## 1 油田地质概况

王龙庄油田位于安徽省天长市境内,构造上位于金湖凹陷汭涧次凹西北内斜坡的泥沛-张铺构造带东侧(图 1),是一系列鼻状构造组成的断块群<sup>[5]</sup>。位于研究区西北、西南、东南方向的建湖隆起、张八岭隆起、天长凸起分别为阜宁组储层提供物源<sup>[6]</sup>,自下而上依次沉积阜一段、阜二段、阜三段以及阜四段<sup>[7]</sup>。根据物性分析,王龙庄油田储层孔隙度为 10.51%~25.26%,渗透率  $0.89 \times 10^{-3} \sim 100.24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具有中低孔、中低渗特征。天 83 断块和天 89 断块发育天然裂缝,油田多口油井受人工压裂改造,人工裂缝较普遍。油田内部的构造、沉积、成烃等因素使得区内油气藏差异变化较大<sup>[8]</sup>。

阜二段是王龙庄油田的主要含油层系,呈箕状凹陷特点,主要发育砂质滩坝,分为砂坝、砂滩和滨浅湖三种微相,其中坝砂与滩砂是研究区主要储集砂体;阜三段、阜四段发育一套三角洲前缘砂体,可进一步细分为水下分流河道、河口沙坝、席状砂以及前三角洲等微相。

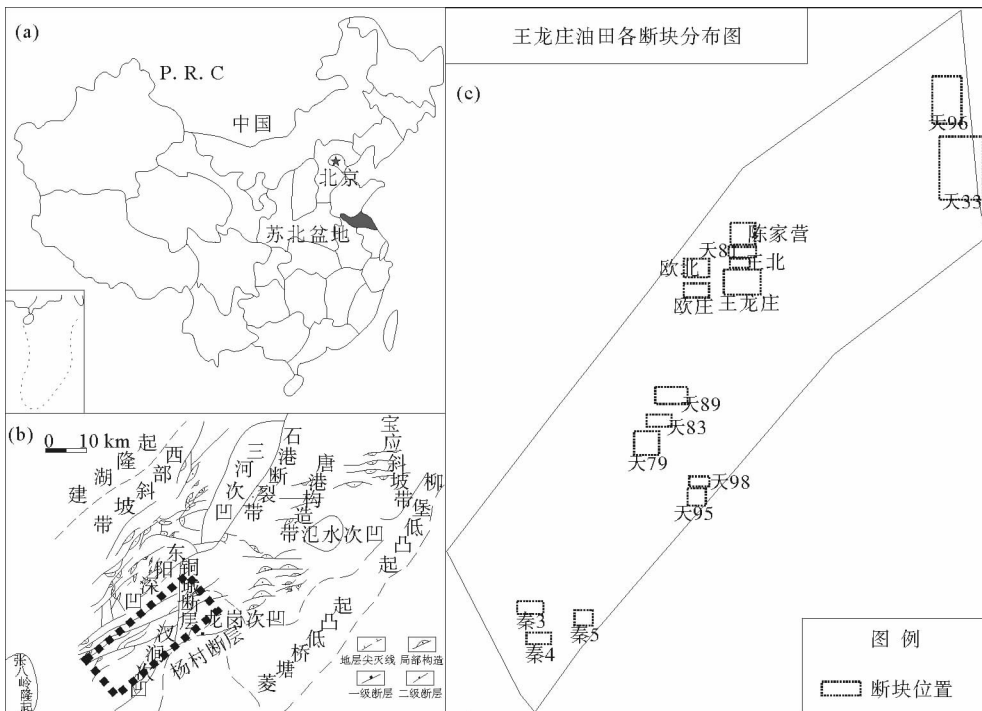


图 1 王龙庄油田位置图

Fig. 1 Location map of Wanglongzhuang oilfield

## 2 储层岩石学特征

通过对王龙庄油田天 X33-1、天 X33-3 以及天 X33-4 等 30 余口井的阜二段、阜三段砂岩进行岩石薄片鉴定(表 1),砂岩中杂基含量较高,约 1%~8%,杂砂岩约 8%。砂岩类型主要为长石砂岩和岩屑长石砂岩,部分为长石石英砂岩(图 2(a))。碎屑中石英含量 46.8%~75%,平均 64.03%;长石含量 15%~38%,平均

28.35%；岩屑含量 2%~22%，平均 5.06%，主要为喷出岩、石英岩以及沉积岩的岩屑(图 2(b), 2(c))。

表 1 王龙庄油田薄片鉴定分析表

Tab. 1 Thin sections identification analysis in the Wanglongzhuang oilfield

井号	井深/m	石英/%	长石/%	岩屑/%	填隙物		
					泥质/%	方解石/%	白云石/%
天 X33-2	2 576.96	70	16	14	3	8	7
天 X33-2	2 575.40	70	16	14	4	10	5
天 79-6	2 539.10	65	19	16	3	8	3
秦 3-1	2 587.14	62	20	18	3	5	1
秦 3-1	2 584.14	60	19	21	5	6	4
秦 3-1	2 585.94	60	18	22	5	5	5
天 89	2 577.14	70	14	16	3	15	5
天 89	2 610.94	62	18	20	4	3	3
天 89	2 648.94	63	18	19	4	5	3
天 83-1	2 456.53	65	21	14	1	5	5
天 83-1	2 456.53	67	19	14	2	3	5
天 83-1	2 465.03	69	19	12	2	4	6
天 83-2	2 476.96	68	22	10	5	3	10
天 83-2	2 576.96	70	20	10	5	3	10
天 83-2	2 640.94	65	25	10	2	5	10

### 3 微观孔隙类型与孔隙结构

#### 3.1 储层孔隙类型

原生孔隙形成于沉积过程中碎屑骨架颗粒之间<sup>[9]</sup>，根据镜下观察及沉积成岩作用分析，发现该类孔隙最为普遍，是研究区的主要贮油孔隙。图 3(a)储层粒间孔隙发育，少量方解石胶结。个别层段储层孔隙分布不均匀，仍以原生粒间孔为主(图 3(b))；图 3(c)大孔隙发育；图 3(d)长石溶蚀粒内溶孔可见；中型粒内孔发育(图 3(e))；粒间孔隙一般被高岭石充填(图 3(f))。

次生孔隙主要包括粒间溶孔和粒内溶孔两种类型<sup>[10]</sup>(图 4)，该类孔隙以中细孔为主。骨架颗粒的溶蚀包括颗粒部分溶蚀和完全溶蚀。粒内溶孔由颗粒内部组分溶解而成的，常见长石、岩屑和云母碎屑颗粒溶孔，大部分粒内溶孔充填粘土矿物以及杂基，因此对于储层物性的改善不明显。

#### 3.2 储层孔隙结构

##### 3.2.1 铸体薄片的孔隙结构

通过对天 X33-2 井、天 79-6 井、秦 3-1 井等 18 块样品的铸体薄片孔隙结构图像分析，面孔率 1.66%~11.67%，平均 5.64%；比表面 0.46~1.12  $\mu\text{m}^{-1}$ ，平均 0.925  $\mu\text{m}^{-1}$ ；孔隙半径 23.18~48.85  $\mu\text{m}$ ，平均 32.49  $\mu\text{m}$ ；均质系数 0.48~0.67，中值 0.61；孔隙配位数 1.65~3.15，平均 2.382；孔隙比 5.38~8.93，平均 6.83。分选系数 5.79~35.35，平均 26.905(表 2)。说明研究区孔隙结构分布不均匀，孔隙结构具有强非均质性。

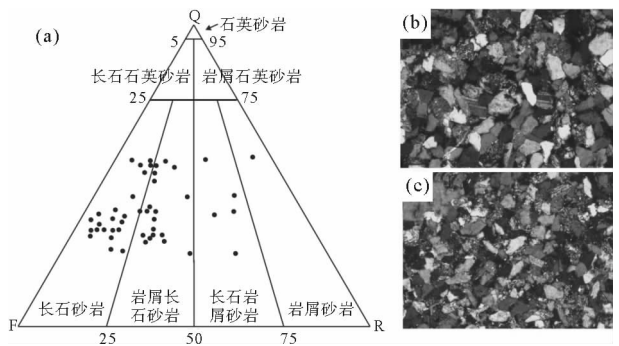
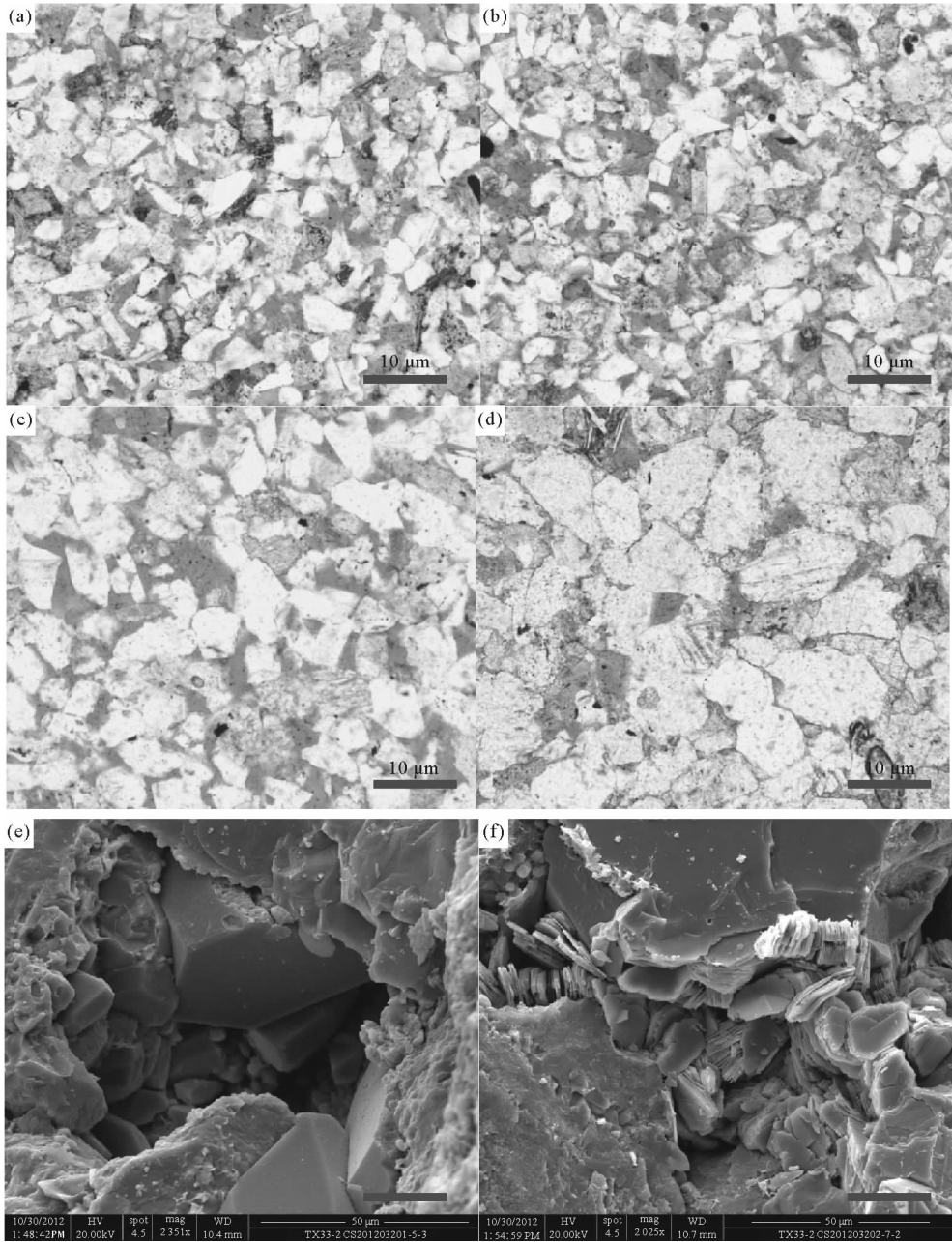


图 2 王龙庄地区阜二段、阜三段砂岩类型三角图

Fig. 2 Type triangle of sandstone in  $E_1 f_2$  and  $E_1 f_3$  of Wanglongzhuang region



(a)天 X33-1 井,1 942.4 m;(b)天 79-6 井,1 498.2 m;(c)秦 3 井,2 165.3 m;(d)天 79-6 井,1 479.4 m  
(e)天 X33-2 井,2 435.2 m;(f)天 X33-2 井,2 356.4 m

图 3 王龙庄油田阜宁组储层孔隙类型

Fig. 3 Reservoir pore type of Funing formation in Wanglongzhuang oilfield

### 3.2.2 核磁共振技术的孔隙结构

核磁共振是原子核和磁场之间的相互作用,核磁共振中极其重要的一个物理量是弛豫,弛豫是磁化矢量在受到射频场的激发下发生核磁共振时偏离平衡态后又恢复到平衡态的过程<sup>[11]</sup>。这项技术的特别之处在于,不仅可测量含氢流体充填的孔隙体积,还允许用弛豫率测量值推导出孔隙大小,可将孔隙度分解成不同分量,不同弛豫时间对应着不同储层孔隙大小(图 5)。

表 2 王龙庄油田阜宁组孔隙结构表

Tab. 2 Pore structure table of funing formation in Wanglongzhuang oilfield

井号	天 X33-2	天 X33-2	天 79-6	秦 3-1	秦 3-1	秦 3-1
深度/m	2 755.61	2 760.93	2 564.97	2 405.75	2 413.61	2 580.12
面孔率/%	5.01	1.66	5.17	11.67	5.66	1.88
平均比表面/ $\mu\text{m}^{-1}$	0.46	0.47	0.92	1.00	1.05	1.12
平均孔喉比	6.73	12.86	5.51	6.60	5.99	6.86
均质系数	0.36	0.47	0.37	0.44	0.38	0.39
平均孔隙直径/ $\mu\text{m}$	48.85	38.22	33.57	38.85	25.62	23.18
平均配位数	0.18	0.02	0.22	0.55	0.24	0.10
分选系数	28.62	18.5	26.76	15.30	15.08	14.15
平均喉道宽度/ $\mu\text{m}$	5.59	8.47	3.65	5.68	4.46	4.29

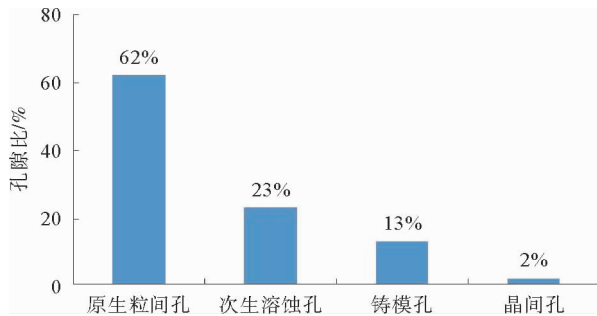


图 4 王龙庄油田阜宁组储层孔隙比例

Fig. 4 Reservoir pore type of Funing formation in Wanglongzhuang oilfield

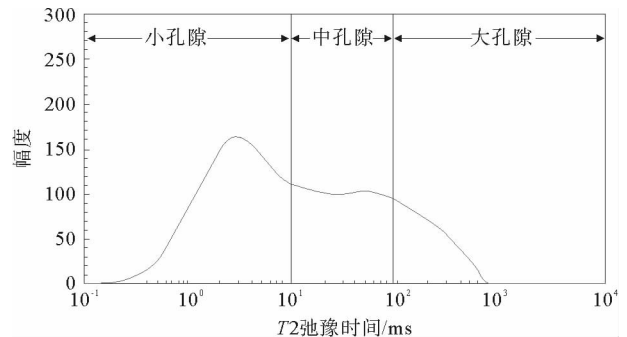


图 5 核磁共振测井解释模型

Fig. 5 Nuclear magnetic logging porosity interpretation model

多孔介质中流体的流动,不仅受孔喉结构特征的影响,还与其表面性质有关。一般来讲,存在于孔隙介质孔道中的流体由于受到固液界面作用的影响较小,流动规律接近常规流体,称为可动流体<sup>[12]</sup>。因此,通过核磁共振,既可以反映储层内流体动用的难易程度,又可以反映孔隙结构。因此,将研究区孔隙结构分为三类:A类孔隙结构,弛豫时间60 ms左右的孔隙,是研究区最好的一类储层;B类孔隙结构稍差;C类孔隙结构最差(表3)。三类孔隙结构在天83-1井阜二段中均有发育,其中阜二段二亚段孔隙结构较好,阜二段三亚段较差,发育B、C类孔隙结构(图6)。

表 3 王龙庄油田阜宁组核磁共振储层分类表

Tab. 3 The classification of NMR of Funing formation in Wanglongzhuang oilfield

储层分类	T2描述	核磁共振分布特征	备注
A	双峰分布 右峰高		中孔中渗油层
B	B1 双峰分布 中等幅度		中低渗透油层
	B2 近单峰左偏分布 中等幅度		低渗透常规油层
C	左偏分布 最低幅度		低产层或者非储层

#### 4 储层分类评价

根据储层识别标准中的指标规定将研究区储层分为三类(表4)。其中,以储层的物性、沉积微相以及孔隙结构为影响储层分类的主要标准。

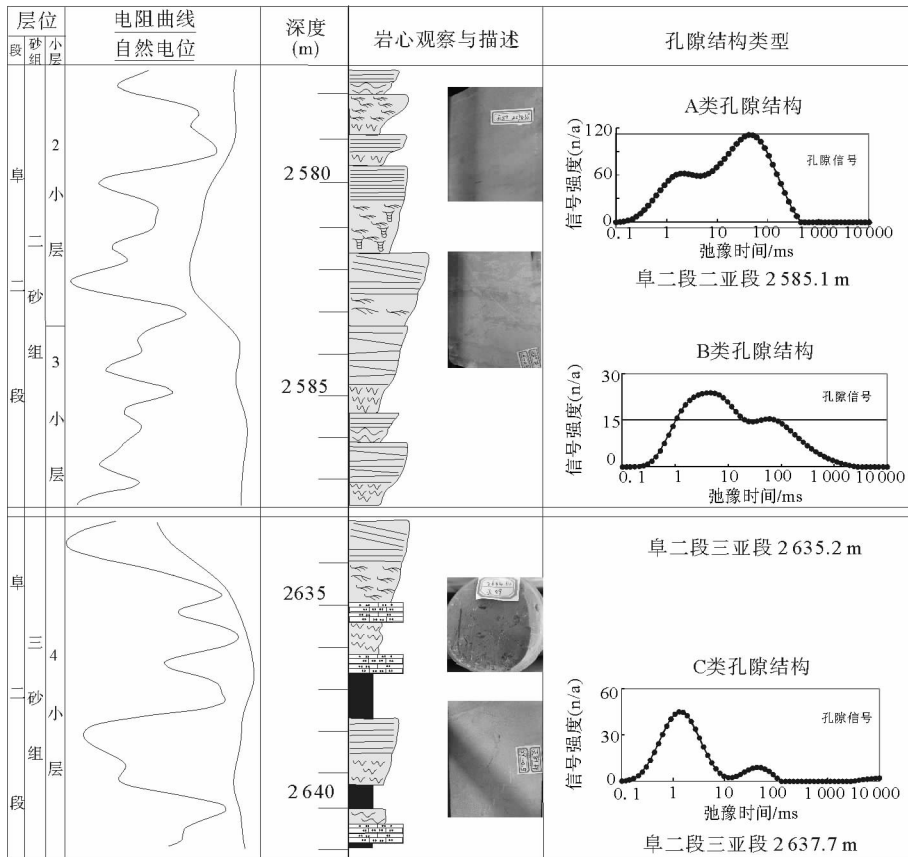


图 6 王龙庄油田天 83-1 井储层核磁共振图

Fig. 6 Reservoir nuclear magnetic resonance of of well Tian 83-1 in Wanglongzhuang oilfield

表 4 王龙庄油田储层分类表

Tab. 4 Reservoir classification of Wanglongzhuang oilfield

储层	孔隙度/%	渗透率/( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	沉积微相	T2 谱类型	孔隙分选性
A 类	>15%	>15	水下分流河道、河口砂坝、砂坝	双峰右偏型	较好
B 类	10~15	5~15	砂滩、三角洲前缘、席状砂	双峰左偏型	一般
C 类	<10%	<5	分流间、三角洲前缘	单峰左偏型	较差

由表 4 储层分类标准可知,储层的分类受多种因素影响,并非仅受单一因素控制,在对储层进行分类时,除了考虑储层的孔隙度、渗透率等物性因素外,还要综合考虑多种因素。按照以上标准,对王龙庄油田阜宁组不同储层的展布情况进行研究,秦 3-1 井阜二段二亚段发育一套三角洲前缘砂体,阜二段三亚段为滩坝砂体(图 7(a)),其中三角洲前缘砂体较厚,发育 B 类储层(图 7(b)),而滨浅湖滩坝相砂体较薄,砂泥互层频繁,发育 C 类储层(图 7(c)),王龙庄油田很少发育 A 类储层,总体发育 B 类或 C 类储层。

## 5 结论

1)原生粒间孔与次生溶蚀孔是研究区的主要贮油孔隙。具有孔隙结构分布不均匀,孔隙结构具有强非均质性的特点。粒内溶孔充填粘土矿物,对储层的改造能力较小。

2)根据核磁共振结果,将研究区储层的孔隙结构主要分为三类;A 类孔隙结构流体主要集中在弛豫时间为 60 ms 左右的孔隙中,是研究区最好的一类储层;B 类孔隙结构为研究区 B 类储层;C 类孔隙结构最差,流

体主要集中在微细孔隙中,储层的渗流能力弱。

3) 根据储层识别标准中的几项指标将研究区储层分为三类,储层物性、沉积微相和孔隙结构是主要影响因素。

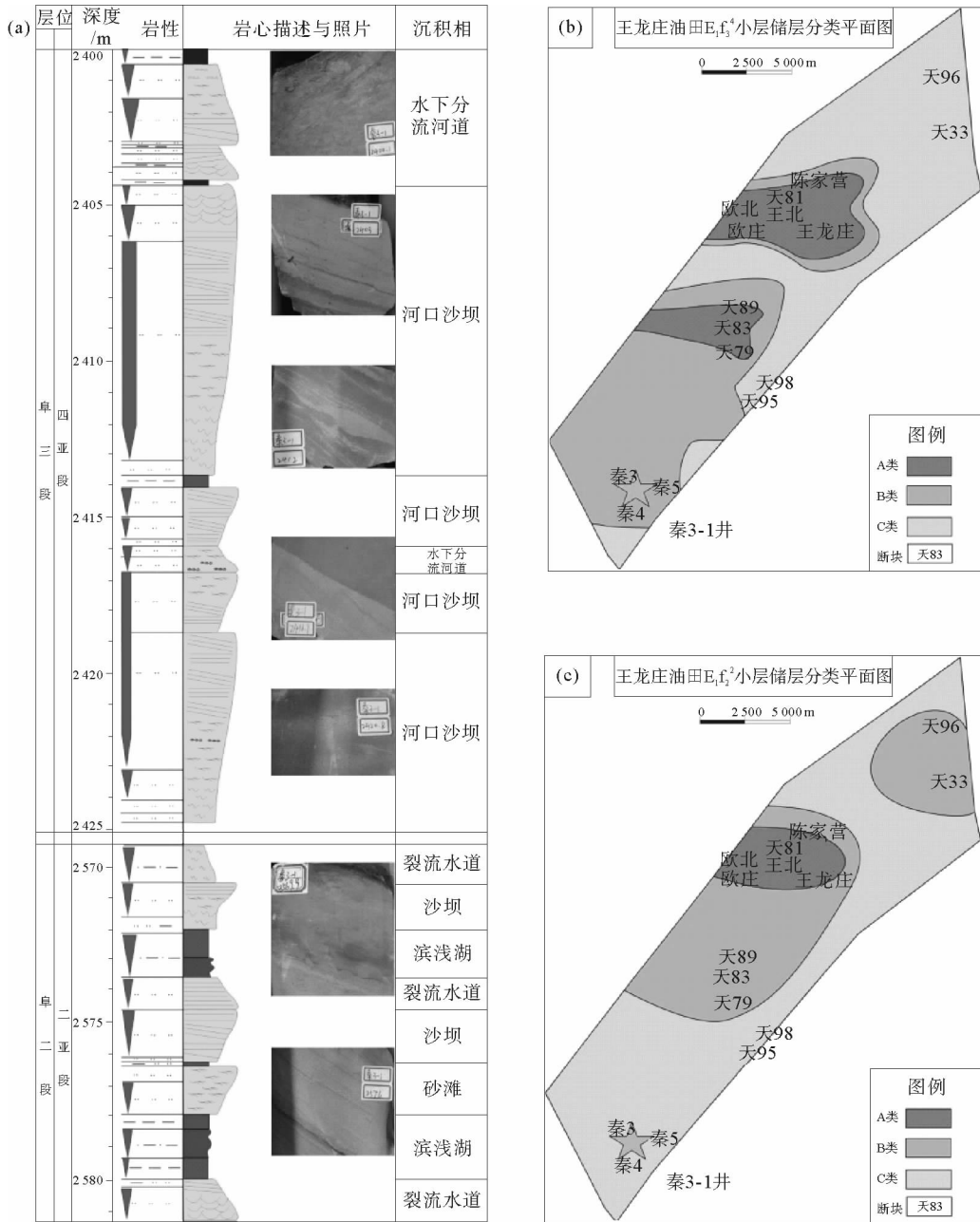


图 7 王龙庄油田阜宁组储层分类评价

Fig. 7 Evaluation of the classification of Funing formation in Wanglongzhuang oilfield

参考文献:

[1] WILKINSON M, DARBY D, HASZELDINE R S, et al. Secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak off, Fulmar formation UK Central Graben[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(5): 803-812.

[2] TOR N K. Secondary porosity in the Brent group huldar field, North sea: Implication for predictiong lateral conti nuity of sandstone[J]. Journal of Sedimentary Peterology, 1992 62(1): 23-34.

- [3]刘金华,唐建东,钟思瑛.金湖凹陷西斜坡阜二段湖相碳酸盐岩沉积模式研究[J].沉积学报,2013,3(3):89-93.  
LIU Jinhua,TANG Jiandong,ZHONG Siying. Sedimentary model of lacustrine carbonate rock in the second member of Funing formation,the west slope of Jinhu sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2013,3(3):89-93.
- [4]郭福生,严兆彬,杜杨松.混合沉积、混积岩和混积层系的讨论[J].地学前缘,2003,10(3):21-26.  
GUO Fusheng,YAN Zhaobin,DU Yangsong. The discussion on mixed deposits,Hunji rock and mixed strata[J]. Earth Science Frontiers,2003,10(3):21-26.
- [5]吴力耘,杨智敏,梁波,等.王龙庄油田滚动勘探方向研究[J].西部探矿工程,2006(7):76-77.  
WU Liyun,YANG Zhimin,LIANG Bo,et al. A research on the direction of Wanglongzhuang oilfield rolling exploration[J]. West-China Exploration Engineering,2006(7):76-77.
- [6]罗钰涵,刘桂玲.金湖凹陷西斜坡阜二段混积储层产能特征及其影响因素研究[J].复杂油气藏,2012,12(5):56-60.  
LUO Yuhan,LIU Guiling. Productivity characteristics of diamictic reservoir in the second member of Funing formation of the west slope in Jinhu sag and its influential factors[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs,2012,12(5):56-60.
- [7]张金亮,毛凤鸣.苏北盆地高邮凹陷北斜坡阜宁组成岩作用及储层特征[J].石油学报,2003,24(2):43-49.  
ZHANG Jinliang,MAO Fengming. Clastic diagenesis and reservoir characteristics of Funing formation in north slope of Gaoyou depression in Subei basin[J]. Acta Petrolci Sinica,2003,24(2):43-49.
- [8]张喜林,朱筱敏,郭长敏,等.苏北盆地高邮凹陷占近系戴南组滨浅湖沉积中的遗迹化石[J].沉积学报,2006,24(1):81-87  
ZHANG Xilin,ZHU Xiaomin,GUO Changmin,et al. Trace fossils of shore-shallow lacustrine Dainan formation(Palcogene) in Gaoyou sag,Subei basin,Jiangsu province[J]. Acta Sedimentologica sinica,2006,24(1):81-87.
- [9]李书恒,赵继勇,崔攀峰.超低渗透储层开发技术对策[J].岩性油气藏,2008,20(3):128-131.  
LI Shuheng,ZHAO Jiyong,CUI Panfeng. Ultra-low permeability reservoir development technical countermeasures[J]. Lithologic Reservoirs,2008,20(3)128-131.
- [10]蔡忠.储集层孔隙结构与驱油效率关系研究[J].石油勘探与开发,2000,27(6):45-49.  
CAI Zhong. Research on the relationship between the reservoir pore structure and oil displacement efficiency[J]. Petroleum ExpLoratiou and Development,2000,27(6):45-49
- [11]李群,郭建华,郭原草,等.华池油田华152区低渗透砂岩储层敏感性及其形成机理[J].矿物岩石,2009,29(2):78-83.  
LI Qun,GUO Jianghua,GUO Yuancao,et al. Sensitivity character and its mechanism analysis of low-permeability sand bodies in H152 block of Huachi oilfield[J]. Journal of Mineralogy and Pertology,2009,29(2):78-83.
- [12]黄翔,赵明强.渤南油田高温低渗油藏储层伤害机理研究[J].长江大学学报(自然科学版),2010,7(2):181-183.  
HUANG Xiang,ZHAO Mingqiang. Research on formation damage mechanism of high temperature and low permeability reservoir in Bonan oilfield[J]. Journal of Yangtze University(Natural Science Edition),2010,7(2):181-183.

(责任编辑:高丽华)