

大庆宋芳屯油田肇35区块葡萄花油层 非均质性研究

陈伟¹, 刘大锰¹, 彭承文²

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 大庆油田有限公司 第八采油厂, 黑龙江 大庆 163514)

摘要: 从储层宏观与微观非均质性入手, 分别研究了肇35区块葡萄花油层的层内、层间、平面和微观非均质性特征及主控因素, 研究区层内非均质性主要受到沉积构造、渗透率韵律以及夹层分布等的影响; 从物性和隔层分布特征方面分析了层间非均质性特征, 自下而上葡萄花油层非均质性呈现弱→强→弱的变化趋势; 平面非均质性特征受砂体及沉积微相展布影响较大, 沿河道延伸方向非均质性较好。研究区主要发育正常粒间孔、缩小粒间孔和粒内溶蚀孔, 整体上储层微观孔隙结构发育良好。从不同方面分析了研究区非均质性对剩余油分布的影响, 沉积微相类型和成岩作用是控制储层非均质性的主因素。最终对葡萄花油层主力小层进行储层评价, 预测了有利储层的发育面积和分布范围, 为下一步的勘探开发提供一定的依据。

关键词: 储层非均质性; 孔隙结构; 沉积微相; 葡萄花油层; 肇35区块; 大庆油田

中图分类号: TE122.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2012)01-0175-09

Study on Heterogeneity of Putaohua Reservoir in Block Zhao 35 of Songfangtun in Daqing Oilfield

CHEN Wei¹, LIU Da-meng¹, PENG Cheng-wen²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. No. 8 Oil Production Plant of Daqing Oilfield, Daqing, Heilongjiang 163514, China)

Abstract: Based on the theory of reservoir heterogeneity, this study researched the characteristics of intra-layer heterogeneity, inter-layer heterogeneity, plane heterogeneity and micro-heterogeneity, and analyzed the controlling factors. The results showed that the intra-layer heterogeneities were controlled by the sedimentary structures, the permeability rhythms and the distribution of interbed. The distribution characteristics of physical property and interlayer were analyzed and the heterogeneities changed from weak to strong then to weak from bottom to top within Putaohua reservoir. The plane heterogeneities were mainly affected by the distribution of sandstones and sedimentary micro-facies. Along the extending direction of underwater distributary channel, the heterogeneity was good. The primary intergranular pore, secondary intergranular dissolved pore and intragranular dissolved pore developed well in the study area, and the micro-pore structures were fine. The distribution of remaining oil was influenced by the heterogeneity in different aspects. The sedimentary facies types and diagenesis were considered as the main controlling factors of reservoir heterogeneity. Finally, this study predicted the developing area and distribution range of favorable reservoir for the main productive layers of Putaohua reservoir, and the result provided a certain foundation for the future exploration in the study area.

Key words: reservoir heterogeneity; pore structure; sedimentary micro-facies; Putaohua reservoir; Block Zhao 35; Daqing Oilfield

收稿日期: 2011-04-25; 改回日期: 2011-10-20; 责任编辑: 潘令枝。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2011PY0209)。

作者简介: 陈伟, 男, 博士研究生, 1983年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事油气储层预测与评价研究。

Email: chenwei62031@sina.com。

0 引言

储层非均质性是指储层的基本性质(岩性、物性、电性、含油气性)在三维空间分布的不均一性^[1]。储层非均质性研究是油气田地质勘探与开发工程中的重要基础工作之一,也是长期未能得到很好解决的技术难点^[2]。储层非均质性在宏观上受古地理背景、地层格架、沉积相带的展布、断裂作用的控制,在微观上受岩石类型、成岩作用和孔隙结构等微观性质的影响^[3]。现今储层非均质性的分类方案很多,不同的学者根据不同的研究目的、研究对象,对非均质性的分类也有所不同^[4-9]。其中应用最为广泛的是裘怿楠的宏观非均质性和微观非均质性分类方法^[10-11]。本文根据储层非均质性发育规模,同时考虑开发生产实际,分别从层内非均质性、层间非均质性、平面非均质性和微观非均质性等不同角度对大庆宋芳屯油田肇35区块葡萄花油层进行深入研究,期望研究成果能进一步指导该地区油田的开发生产。

1 地质概况

三肇凹陷是松辽盆地主要生油凹陷之一,宋芳屯油田位于三肇凹陷宋芳屯、模范屯鼻状构造上,是油气富集的有利地区。肇35区块位于宋芳屯鼻状构造西翼向太平屯背斜构造过渡的斜坡部位,南邻永乐向斜,主体部分位于三肇凹陷西南部,区域构造走向为NNE向(图1)。该区块在2004年部署的肇35井中获得工业油流,而同处该区块的芳42、芳114等井在老井复查中同样试油

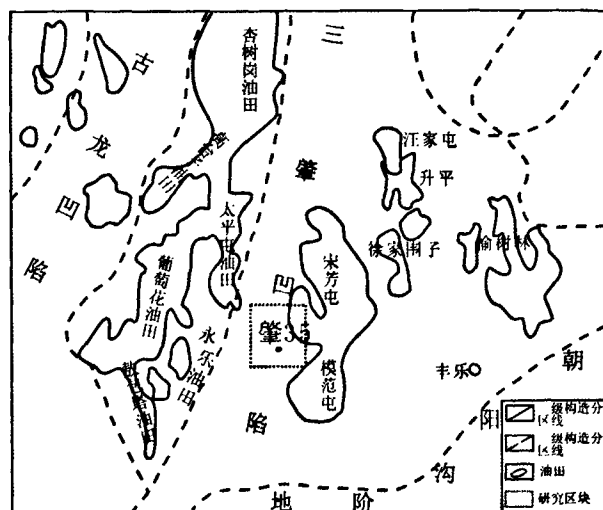


图1 研究区地理位置图

Fig. 1 Location map of the study area

成功,证明了该地区具有较好的勘探前景。该区钻遇的地层从上到下依次为新近系、古近系泰康组及上白垩统明水组、四方台组、嫩江组、姚家组、青山口组及下白垩统泉头组地层,缺失古近系大安组、依安组地层。本次研究的目的层为下白垩统姚家组一段的葡萄花油层,岩性主要为深灰色、绿灰色泥质粉砂岩及灰色、灰棕色粉砂岩和细砂岩,油层厚度在32.0~56.5 m之间。从下至上,葡萄花油层划分为9个砂岩组,分别为P11、P12、P13、P14、P15、P16、P17、P18和P19。前人研究表明,该地区葡萄花油层沉积类型为三角洲前缘亚相^[12],发育水下分流河道、席状砂、河口砂坝、水下分流间湾等微相类型。

2 储层非均质性

2.1 层内非均质性

层内非均质性指一个单砂层内粒度和渗透率的韵律性变化,主要表现为由沉积旋回、底部冲刷和粒度变化引起的岩性、物性、电性及含油气性在垂向上的变化^[13-15]。它是控制层内剩余油形成和分布的关键地质因素,具体可从沉积构造特征、渗透率的韵律特征和层内夹层分布特征等几个方面描述。

2.1.1 沉积构造特征

研究区葡萄花油层发育三角洲前缘亚相,储集砂体以水下分流河道、河口坝、席状砂等为主。其中水下分流河道多为正韵律,发育槽状交错层理、平行层理,底部可见冲刷或突变面;河口坝砂体一般为反韵律或复合韵律,顶部多为突变接触关系,底部为渐变接触关系,发育块状层理、小型槽状或板状交错层理、平行层理、波状层理、滑塌变形层理或搅混构造;席状砂多呈明显小型反韵律或指状特征,具波状层理、透镜状层理和水平层理等。本文受取心井资料的限制,未对研究区沉积构造特征做进一步研究;但一般认为斜层理和平行层理渗透率导向好,交错层理渗透率导向差。

2.1.2 渗透率的韵律性特征

渗透率大小在纵向上的变化所构成的韵律称为渗透率韵律。通过岩心观察和测井资料分析,根据层内最高渗透率段所处的不同位置,在研究区识别出4种韵律类型,包括正韵律、均质韵律、反韵律和复合韵律(图2)。正韵律和复合韵律多发育在水下分流河道砂体中,反韵律在河口坝及

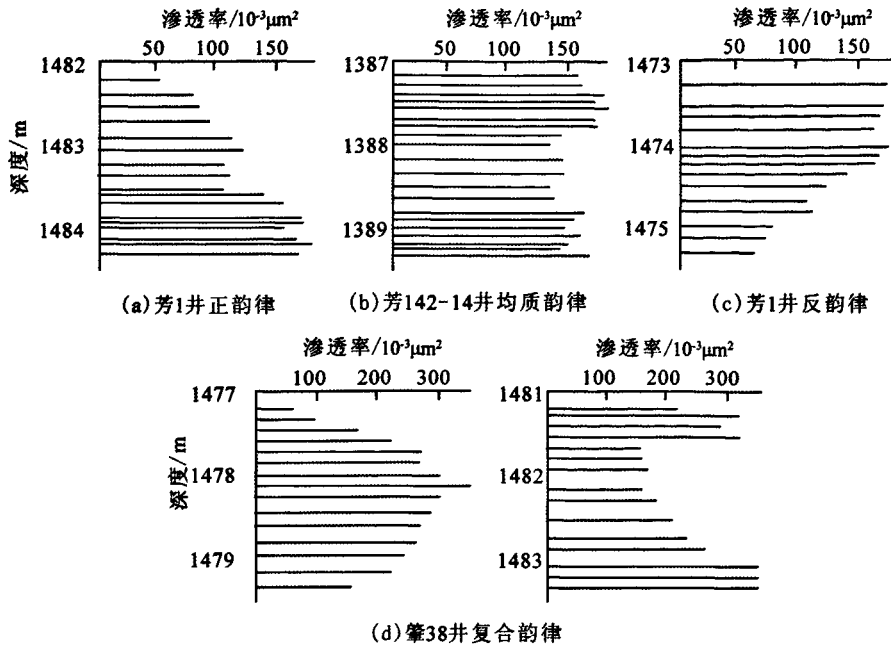


图2 研究区小层内渗透率垂向分布韵律模式图

Fig. 2 Models of vertical rhythmic distribution of the permeability inner small layers in the study area

前缘砂体中特征明显。受渗透率韵律性的影响,不同层内水淹及驱油效率差异性很大。正韵律和复合韵律的中上部多是剩余油相对集中分布的部位,对层内非均质性贡献大;而均质韵律和反韵律开采时水驱效果较好,对层内的非均质性贡献小。

2.1.3 夹层分布特征

夹层是指在砂岩层内所分布的相对非渗透层,其在注采井范围内的分布状况,对油水运动有着很大的影响。一般说来,只要在注采井组内分布比较稳定的夹层,对油水就能起到屏蔽的作用。不稳定夹层越多,其非均质性越强,油水运动与分布也就越复杂^[13];因此层内非均质性在很大程度上取决于夹层的状况。

研究区主要发育泥质夹层、钙质夹层及物性夹层,岩性多为泥岩、钙质泥岩、粉砂质泥岩以及部分泥质粉砂岩及致密细砂岩。分析认为,夹层发育多少主要与砂体及短期基准面旋回有关(表1)。短期基准面上升期间,底部多发育粗粒河道砂体,向上粒度变细,逐渐向河间细粒沉积物转换,夹层厚度、频数以及泥地比逐渐增加。同理,随着短期基准面下降,夹层厚度、频数以及泥地比逐渐减小。由此可见,研究区层内非均质性较好的小层多分布在P12和P17小层,其次为P14、P15和P19,其余小层夹层发育较多,非均质性较强。

表1 研究区葡萄花油层夹层特征

Table 1 Interbed properties of Putaohua reservoir in the study area

小层号	有效厚度/m	夹层厚度/m	夹层频数/(个/m)	泥地比/%	短期旋回
P11	1.55	0.49	0.98	20.28	▲
P12	2.02	0.37	0.22	12.18	▲
P13	1.17	0.39	0.37	18.37	▲
P14	1.28	0.28	0.27	15.16	▲
P15	1.31	0.43	0.30	19.70	▲
P16	1.45	0.51	0.49	23.60	▲
P17	1.57	0.38	0.37	19.00	▲
P18	2.62	1.10	0.74	28.95	▲
P19	2.27	0.57	1.18	18.09	▲

2.1.4 层内非均质性特征

表征储层非均质程度常用的参数有渗透率变异系数、突进系数、渗透率级差等。统计研究区测井曲线解释结果,分别计算出各层非均质参数。由表2可以看出,P11、P16、P18和P19小层层内非均质性较弱,变异系数最小,主要为席状砂与河道间砂体沉积;P12、P13、P14和P17小层层内非均质性中等,砂体类型以水下分流河道和河口坝沉积为主,河道顶部与河口坝砂体底部泥质沉积发育较多,导致储层孔隙性和渗透性有所下降;P15小层非均质性较强,砂体类型以河道砂体为主。

表 2 研究区葡萄花油层非均质性系数统计

Table 2 Heterogeneity statistics of Putaohua reservoir in the study area

小层号	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	变异系数	突进系数	级差	非均质程度
P11	23.46	0.35	1.49	4.35	弱
P12	92.65	0.57	1.81	80.88	中等
P13	37.70	0.45	1.86	32.00	中等
P14	69.97	0.55	1.97	52.08	中等
P15	92.94	0.60	1.81	42.34	较强
P16	40.92	0.36	1.53	9.48	弱
P17	212.11	0.52	1.64	39.20	中等
P18	23.55	0.38	2.02	8.48	弱
P19	20.14	0.29	1.49	2.44	弱

2.2 层间非均质性

储层的层间非均质性一方面是指储层纵向上砂体间的物性差异及分布特征,另一方面是指各层组之间泥岩隔层的分布与变化。层间非均质性主要受沉积相带展布规律的控制,是对一套含油层系的总体研究。

2.2.1 物性垂向分布特征

研究区葡萄花油层各小层垂向上孔隙度相对变化不大,平均孔隙度都在 15% 以上;渗透率垂向上变化差异较大,其中以 P12、P15 和 P17 这 3 个小层最好,渗透率都在 $90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上,为中孔中渗储层;其余小层平均渗透率基本小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔低渗储层(图 3)。从各层渗透率变异系数、突进系数、级差统计来看(表 2),葡萄花油层层间非均质性较强,各小层自下而上非均质性呈现弱-强-弱的变化趋势。

2.2.2 隔层分布特征

研究区葡萄花油层隔层岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩。各小层之间泥岩隔层分布有所不同。其中以 P14 和 P15 之间的泥岩隔层发育最为稳定,厚度最大,平均 7.9 m,横向上可以追踪。其余小层隔层厚度从 1~3 m 变化不等,除顶、底部作为油组界限的泥岩能够横向追踪外,其余均发育不稳定(图 4)。从中可以看出,研究区葡萄花油层层间非均质性较强的小层主要集中在 P13、P14 和 P15 小层之间,其余小层层间非均质性中等-较弱。

2.3 平面非均质性

平面非均质性是由于砂体的几何形态、规模、连续性、孔隙度和渗透率的平面变化所引起的。统计各小层砂岩及有效砂岩厚度(图 5),其中平均砂岩厚度以 P12、P17 和 P19 最厚,分别为 1.93 m、1.65 m 和 1.61 m;平均有效砂岩厚度以 P12、P15 和 P17 这 3 个小层最厚,分别为 1.27 m、1.21 m 和 1.17 m。砂岩和有效砂岩发育最差的为 P11 和 P13 小层,平均砂岩厚度小于 1.5 m,平均有效砂岩厚度不足 1 m。由于葡萄花油层平面砂体及非均质性特征主要受控于沉积微相的展布,因此各小层非均质性分布特征基本与沉积微相的平面展布一致(图 6)。平面上,葡萄花油层砂体呈现西北厚、东南薄的分布特征,该时期研究区主要以西北部 and 北部物源为主,发育三角洲前缘亚相和浅湖相沉积。水下分流河道呈树枝状交叉合并,规模较大,沿河道延伸方向连续性好;河道间为水下分流间湾和间湾砂沉积,河道末端及两

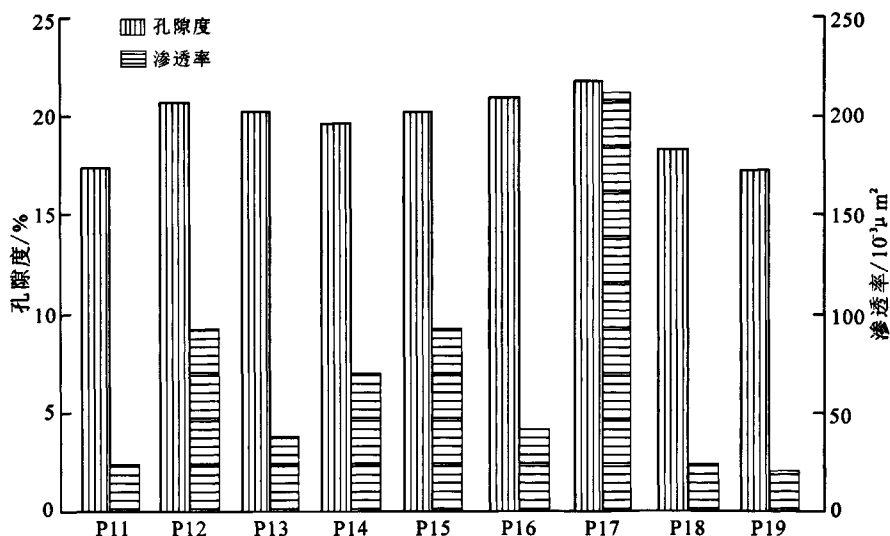


图 3 研究区葡萄花油层各小层物性分布图

Fig. 3 Distribution of porosity and permeability of interlayers of Putaohua reservoir in the study area

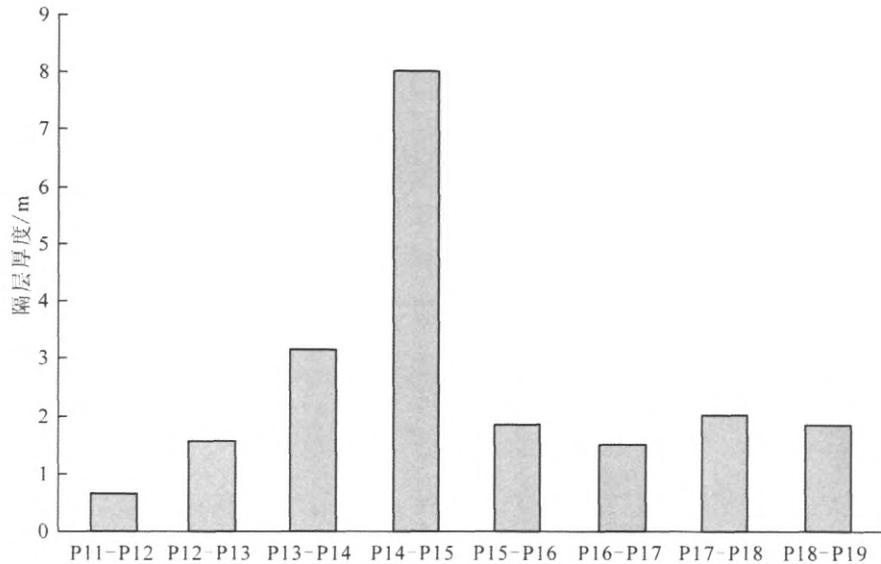


图4 研究区葡萄花油层各小层隔层厚度

Fig. 4 Interlayer thickness of different layers of Putaohua reservoir in the study area

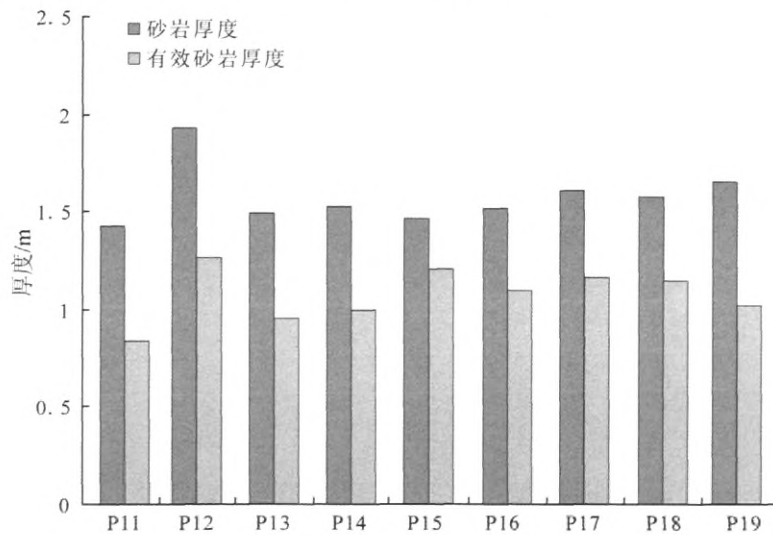


图5 研究区葡萄花油层砂岩厚度统计

Fig. 5 Statistics of sandstone thickness of Putaohua reservoir in the study area

侧发育片状席状砂,厚度较薄,连续性好;河口坝砂体主要分布在河道末端,呈透镜状展布,规模较小。

2.4 微观非均质性

通过对研究区部分井的薄片分析与扫描电镜观察,葡萄花油层砂岩多为颗粒支撑,砂岩颗粒大小为0.01~0.20 mm;胶结物以泥质为主,胶结类型多样,主要有接触、孔隙、再生、充填、薄膜等几种及相应的不同组合类型。根据扫描电镜观察,研究区孔隙类型^[16-22]主要为原生孔隙和次生孔隙。原生孔隙类型包括正常粒间孔和缩小粒间孔。正常粒间孔主要是压实作用的产物,是

碎屑颗粒之间的孔隙,连通性好,此类孔隙在研究区广泛发育(图7(a));缩小粒间孔是原生粒间孔隙在孔隙缩小后余下的粒间孔隙,研究区缩小粒间孔主要由高岭石、次生石英、伊利石和绿泥石等充填(图7(b)、(c));次生孔隙以粒内溶蚀孔隙为主,主要由不稳定的长石颗粒内部被不同程度溶蚀造成的,是典型的次生孔隙类型(图7(d))。同时对研究区9口井的105个压汞分析数据进行统计分析,结果表明葡萄花油层排驱压力较低,分布在0.035~2.757 MPa之间,平均为0.101 MPa;孔喉半径均值分布范围为0.09~6.41 μm ,平均值为2.23 μm ;孔隙喉道半径大于1 μm

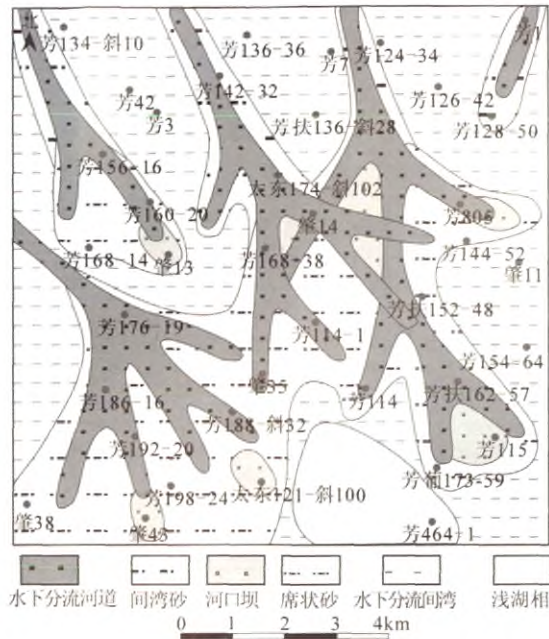


图6 研究区葡萄花油层沉积相分布图

Fig. 6 Distribution map showing sedimentary facies of Putaohua reservoir in the study area

的占85.2%以上,属于中-粗孔喉。此外,葡萄花油层均质系数较低,分布范围在0.216~0.513之间,平均值为0.378;歪度大部分在0.125~0.864之间,平均值为0.488,峰态分布于0.429~1.305之间,平均值为0.754。由此可见研究区喉道分布不均匀,但主要偏于粗喉道,且分布曲线的尖峰较厉害,说明本区储层渗透性好。

3 非均质对剩余油分布的影响

层内渗透率在纵向上的韵律性导致层内水淹及驱油效率差异性很大。高渗透部位渗流速度较快,水淹程度较高,低渗透部位渗流速度较慢,水淹程度较低,因此剩余油多分布在渗透率较低的部位,尤其是正韵律中上部。而均质韵律和反韵律开采时水驱效果较好,对层内的非均质性贡献小。简单正韵律、复杂正韵律以及复合韵律对层内非均质性贡献大。

受层间非均质性的影响,剩余油一般富集在储层渗透率级差大、物性较差的单砂层内。针对

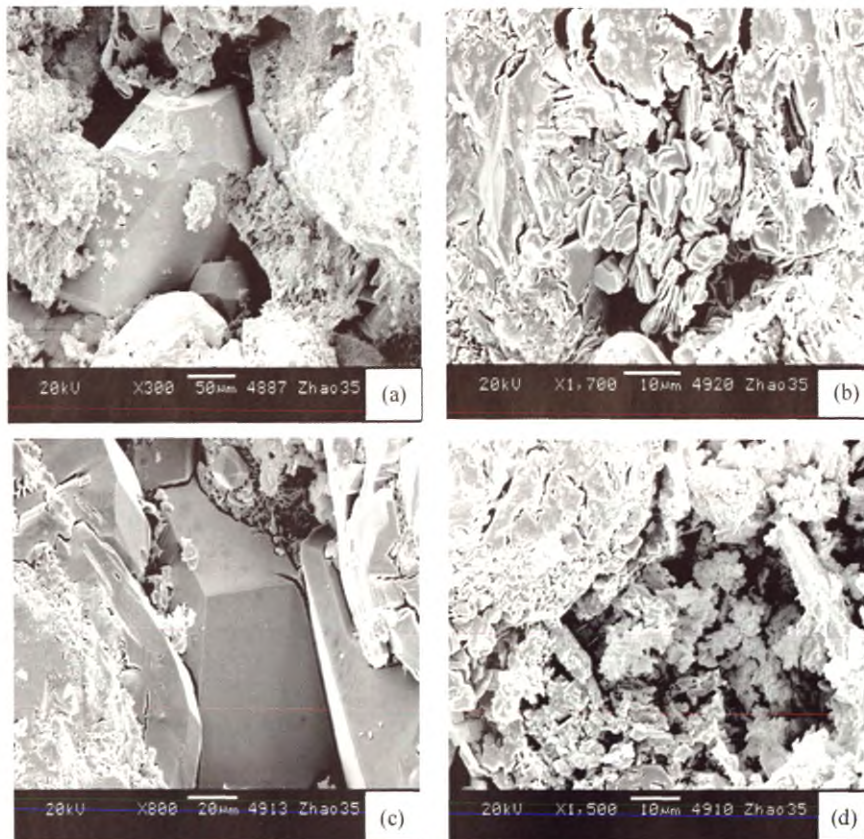


图7 研究区孔隙类型

Fig. 7 Pore types of Putaohua reservoir in the study area

(a)粒间孔,孔隙较发育,连通性较好;(b)粒间孔孔隙中充填高岭石,高岭石晶形较差;(c)粒间孔隙中充填次生石英,次生石英较发育;(d)长石颗粒被溶蚀,形成次生孔隙

研究区葡萄花油层层间非均质性分析(表2),认为研究区P13和P14小层可作为下一步剩余油开采的潜力层位。对于这部分剩余油,应采用分层开采的技术进行开采,防止层间干扰与单层突进,从而达到油层最大程度的动用。

平面剩余油分布受砂体展布、规模、连通性及空间组合方式的制约。在砂体厚度大、连续性好的高渗透区,剩余油相对较少;而在砂体发育厚度薄、连续性相对较差的低渗透区,剩余油富集程度较高,可以作为下一步的挖潜目标区。针对研究区而言,沿河道末端及其两侧发育的薄层席状砂是剩余油富集的有利区域。

微观上剩余油饱和度与最大连通孔喉半径、孔喉中值半径、平均孔喉半径、相对分选系数、孔隙结构均质系数呈负相关,说明孔隙空间越发育、分布越均匀,剩余油饱和度就越小;反之,剩余油饱和度则越大^[23]。

4 储层非均质性影响因素分析

4.1 沉积环境

研究区储层非均质性主要受到沉积砂体类型的影响,而砂体类型又与短期基准面旋回有关。在短期基准面上升期间,多发育水下分流河道砂体,粒度较粗,泥岩夹层少,储层孔渗发育良好;在短期基准面下降期间,多发育河口坝及席状砂等砂体类型,砂体厚度较薄,下部泥岩发育厚度大,储层物性相对较差。总结研究区不同微相类型的物性特征可以看出,在发育的有利储集砂体中,水下分流河道的孔渗发育最好,其次为河口坝,席状砂发育最差(图8)。

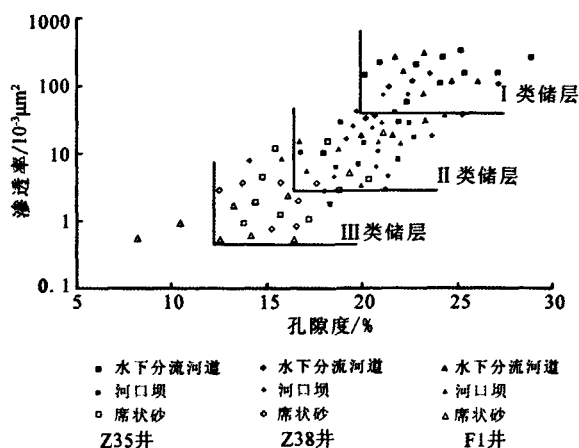


图8 研究区葡萄花油层微相物性对比图

Fig.8 Physical property comparison of sedimentary microfacies of Putaohua reservoir in the study area

4.2 成岩作用

成岩作用主要包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。其中压实作用及胶结作用主要是降低储层孔隙度和渗透率,使物性变差,而溶蚀作用则能提高储层孔隙度和渗透率,使物性得以改善。

4.2.1 压实作用

压实作用是导致储层物性变差的主要因素之一,研究区葡萄花油层顶部埋藏深度为1470~1550 m,油层厚度为32.0~56.5 m。岩心物性统计结果表明,孔隙度和渗透率具有良好的相关性,随着深度的增加,均具有减小的趋势。同时,研究区以三角洲前缘沉积为主,不同储集微相砂体粒度中值及泥质含量各有不同,其中水下分流河道分选较好,平均粒度中值为0.148 mm,平均泥质含量为3.14%,成岩过程中受压实作用影响较小,孔隙度、渗透率减小不明显;河口坝和席状砂微相的平均粒度中值分别为0.113 mm和0.102 mm,平均泥质含量分别5.83%和7.18%,两类微相砂体颗粒小,泥质含量高,原始孔隙度相对较低,在成岩过程中受压实作用影响大,孔隙度、渗透率下降较快。

4.2.2 胶结作用

葡萄花油层主要以泥质胶结为主,含少量碳酸盐胶结,但从影响储层物性发育程度方面考虑,碳酸盐含量起着重要的作用。统计岩心物性数据可以看出,该区碳酸盐含量较少,大部分在20%以下,同时随着碳酸盐含量的增加,孔隙度具有减小的趋势(图9)。

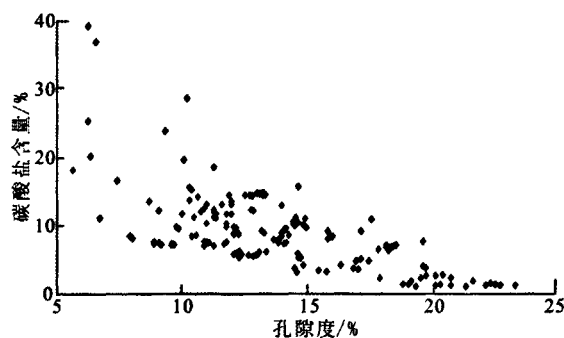


图9 孔隙度与碳酸盐含量关系图

Fig.9 Relationship between porosity and content of carbonates

4.2.3 溶蚀作用

受压实作用影响,储层物性整体上随深度具有逐渐变差的趋势,但由于溶蚀作用的存在,使得次生孔隙在深部多有发育,同样存在物性较好的储层。该区次生孔隙以粒内溶蚀孔隙为主,主

要是长石被不同程度溶蚀造成的(图 7(d))。

5 储层综合评价

综合以上研究认为, 肇 35 区块葡萄花油层有利储集层位主要集中在 P12 和 P17 两个小层, 采用模糊综合评价方法^[24], 以宏观和微观非均质性两个主因素集为评价参数, 下分 5 大项 11 个小项作为评价因子, 建立了研究区葡萄花油层储层评价体系(图 10)。依照该理论方法, 分别完成了 P12 和 P17 小层的储层综合评价(图 11、图 12)。从图 11 中可以看出, P17 小层有利储层分布相对零散,

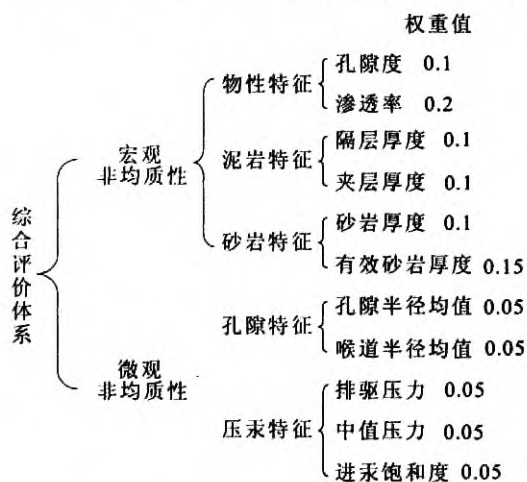


图 10 研究区储层综合评价体系图

Fig. 10 Integrated evaluation system for reservoir in the study area

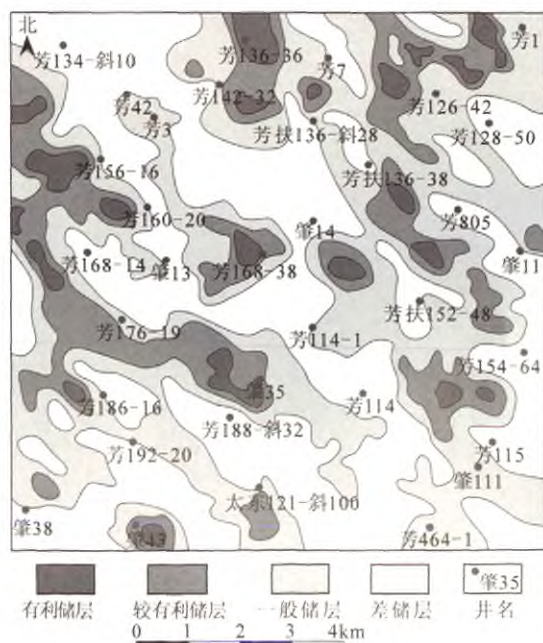


图 11 研究区 P17 小层有利区块预测图

Fig. 11 Prediction for favorable areas of P17 in the study area

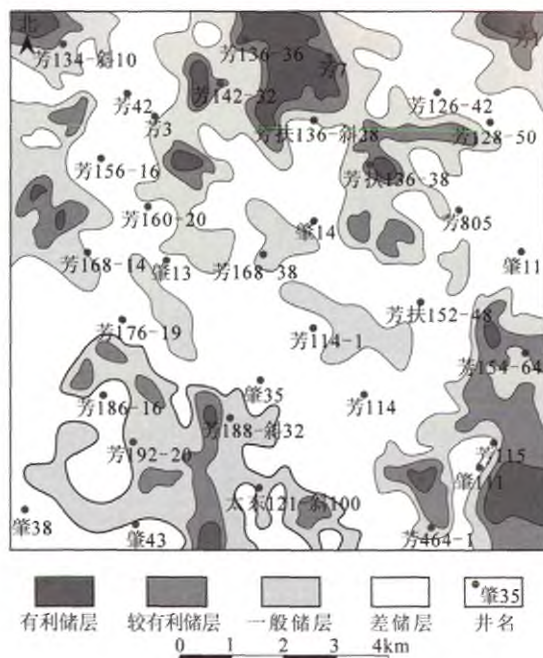


图 12 研究区 P12 小层有利区块预测图

Fig. 12 Prediction for favorable areas of P12 in the study area

研究区各处均有发育, 但区块面积不大, 基本呈透镜状展布; 较有利储层面积占到研究区面积的 20% 以上, 一般储层和差储层发育面积较大。至 P12 小层, 有利储层面积进一步减小, 但分布相对集中, 有利和较有利储层主要分布在研究区北部和东南部地区, 其余地区有利储层呈透镜状零星分布, 基本不成规模。

6 结 论

本文从储层宏观与微观非均质性特征入手, 通过对肇 35 区块葡萄花油层层内、层间、平面以及微观孔隙特征等方面的研究, 取得了如下认识:

(1) 通过对研究区非均质性的研究, 认为研究区层内非均质性主要受到沉积构造、渗透率韵律以及夹层分布等的影响, 共识别出 4 种渗透率韵律类型, 夹层发育多少主要与短期基准面旋回有关; 从物性与隔层分布特征入手, 认为葡萄花油层层间非均质性变化差异较大, 自下而上葡萄花油层非均质性呈现弱-强-弱的变化趋势; 平面非均质性主要受控于沉积微相的展布, 砂体呈现西北厚、东南薄的分布特征; 研究区主要发育正常粒间孔、缩小粒间孔和粒内溶蚀孔, 整体上微观孔隙结构发育良好。

(2) 从层内、层间、平面及微观非均质性特征等不同方面分析了剩余油分布规律, 认为剩余

油多分布在正韵律中上部以及物性较差的单砂层内。P13和P14小层剩余油可作为下一步开发的潜力层,开采砂体类型主要以席状砂为主。

(3)从沉积、成岩角度出发,分析了研究区储层物性的主要控制因素,其中以沉积作用为主。水下分流河道砂体物性发育最好,其次为河口坝砂体。成岩作用中随着深度及碳酸盐含量的增加,储层物性变差,而长石被溶蚀形成的次生孔隙对提高储层的物性有利。

(4)采用模糊综合评价方法,利用5大项11小项参数为评价因子,对研究区P12和P17两个主力小层做了综合评价。对不同小层有利储层的发育面积与分布范围做了预测,为下一步的勘探开发提供了方向。

致谢:感谢匿名审稿专家对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献:

- [1] 刘克奇,杨喜峰,杨春梅.东濮凹陷卫城81断块沙四段第二砂层组储层非均质性研究[J].断块油气田,2004,11(4):55-57.
- [2] 张希明,王恕一.塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储层非均质性研究:以阿克库勒—达里亚地区为例[J].石油实验地质,1997,19(3):201-208.
- [3] 单敬福,路杨,纪友亮.厚层河道砂体储层非均质性研究——以葡萄花油层组P11—P14小层为例[J].地质找矿论丛,2007,22(2):125-130.
- [4] 陈克勇,张哨楠,胡永章,等.塔巴庙上古生界碎屑岩储层非均质性及控制因素[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(3):273-276.
- [5] 罗明高,完颜祺琪,石国新,等.陆梁油田陆9井区头屯河组储层非均质性研究[J].西南石油学院学报,2007,29(4):56-60.
- [6] 吴胜和,熊琦华.油气储层地质学[M].北京:石油工业出版社,1998:159-172.
- [7] 刘泽容,信荃麟,王伟锋,等.油藏描述原理与方法技术[M].北京:石油工业出版社,1993:56-63.
- [8] 郑浚茂,于兴河,谢承强,等.不同沉积环境储层的层内非均质性——以黄骅凹陷为例[J].现代地质,1995,9(4):501-508.
- [9] 李少华,陈新民,姚凤英,等.坪北油田延长组长6油组储层层内非均质性研究[J].沉积与特提斯地质,2006,26(2):55-58.
- [10] 袁泽楠.碎屑岩储层沉积基础[M].北京:石油工业出版社,1987:3-6.
- [11] 袁泽楠,许士策,肖敬修.沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性[J].石油学报,1985,6(1):41-49.
- [12] 陈伟,刘大猛,彭承文,等.大庆油田肇35区块葡萄花油层沉积微相分布演化规律及有利相带预测[J].现代地质,2010,24(6):1072-1078.
- [13] 单敬福,纪友亮,张海玲,等.大庆油田葡萄花油层组储层非均质性[J].地质调查与研究,2006,29(2):136-144.
- [14] 崔树清,刘雪军.高台堡油田沙河街组三段E₃²⁺³亚段储层非均质性研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2005,20(2):22-27.
- [15] 李浩.东辛油田东营组LH断块储层非均质性研究[J].地质找矿论丛,2006,21(4):294-298.
- [16] 范旭,徐运亨,董仲林,等.松辽盆地宋芳屯油田葡萄花油层储层综合特征[J].大庆石油学院学报,1999,23(3):70-73.
- [17] 谢爱华,刘社芹.东濮凹陷桥口低渗气藏储层敏感性对策研究[J].石油与天然气地质,2008,29(3):365-368.
- [18] 冯永春,王建民.鄂尔多斯盆地志丹油田永金地区长6储层微观孔隙成因类型及特征[J].岩性油气藏,2008,20(4):47-52.
- [19] 周凤娟,王振奇,支东明,等.准噶尔盆地红山嘴地区克拉玛依下亚组孔隙结构特征及影响因素[J].岩性油气藏,2008,20(4):65-70.
- [20] 朱永贤,孙卫,于锋.应用常规压汞和恒速压汞实验方法研究储层微观孔隙结构——以三塘湖油田牛圈湖区头屯河组为例[J].天然气地球科学,2008,19(4):553-556.
- [21] 沈金松,张宸恺.应用分形理论研究鄂尔多斯ZJ油田长6段储层孔隙结构的非均质性[J].西安石油大学学报:自然科学版,2008,23(6):19-23.
- [22] 夏景生,王成明,王志坤,等.山东东营凹陷东部深层浊积扇储层的微观特征及影响因素[J].中国地质,2008,35(5):975-983.
- [23] 许建红,钱丽丹,库尔班.储层非均质对油田开发效果的影响[J].断块油气田,2007,14(5):29-31.
- [24] 姚艳斌,刘大猛,胡宝林,等.地理信息系统在煤层气资源综合评价中的应用[J].煤炭科学技术,2005,33(12):1-4.