

吴起油田G区块长 9_1 油层组 储层特征研究及储层 评价

汪义莉

长江大学, 湖北 荆州

收稿日期: 2021年12月7日; 录用日期: 2021年12月31日; 发布日期: 2022年1月7日

摘 要

为了对低渗透油区长 9_1 储层特性进行研究, 本文依据现有的岩心铸体薄片资料、扫描电镜图像、高温压汞实验数据以及常规的物性测试数据等, 对G区块长 9_1 储层的岩石学特征、孔隙类型、孔隙结构特征以及物性特征等进行了深入的研究, 从而明确了该储层的物性特征, 并对储层进行了综合评价, 以期可以准确地预测研究区内有利储集带的分布, 指导后期的油气勘探开发。通过研究分析可知, 吴起油田G区块长 9_1 储层的岩性主要以长石岩屑砂岩、岩屑砂岩、岩屑长石细砂岩为主; 储层的孔隙类型以颗粒间孔为主, 微裂缝占比最小; 孔隙结构属于小孔微细喉型; 平均孔隙度为7.2%, 平均渗透率为0.27 mD。长 9_1 储层可以分为I、II、III类三种类型。其中I类和II类储层的物性相对来说更好、开发动用程度较高, 是勘探开发的主要类型。

关键词

储层特征, 储层评价, 吴起油田, 长 9_1 储层

Study on Reservoir Characteristics and Reservoir Evaluation of Chang 9_1 Formation in Block G of Wuqi Oilfield

Yili Wang

Yangtze University, Jingzhou Hubei

Received: Dec. 7th, 2021; accepted: Dec. 31st, 2021; published: Jan. 7th, 2022

Abstract

In order to study the characteristics of Chang 9₁ reservoir in low permeability oil area, based on the existing core cast thin section data, scanning electron microscope images, high temperature mercury injection experimental data and conventional physical property test data, this paper deeply analyzes and studies the petrological characteristics, pore types, pore structure characteristics and physical properties of Chang 9₁ reservoir in block G. The physical characteristics of the reservoir are defined, and the reservoir is comprehensively evaluated, in order to accurately predict the distribution of favorable reservoir belts in the study area and guide the later oil and gas exploration and development. Through research and analysis, it can be known that the lithology of Chang 9₁ reservoir in block G of Wuqi Oilfield is mainly composed of feldspar lithic sandstone, lithic sandstone, and lithic feldspar fine sandstone; the pore type of the reservoir is mainly intergranular pores. The proportion of micro-cracks is the smallest; the pore structure belongs to the small-pore and micro-throat type; the average porosity is 7.2%, and the average permeability is 0.27 mD. The Chang 9₁ reservoir can be divided into three types: Type I, II, and III. Among them, type I and type II reservoirs have relatively better physical properties and a higher degree of development and production. They are the main types of exploration and development.

Keywords

Reservoir Characteristics, Reservoir Evaluation, Wuqi Oil Field, Chang 9₁ Reservoir

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鄂尔多斯盆的致密油气资源十分丰富[1], 具有很好的油气勘探开发潜力。延长组是鄂尔多斯盆地油气勘探开发的主力目的层系[2]。吴起油田位于鄂尔多斯盆地的西部, 开发层系以长 9 油层为主[3] [4] [5], 属于岩性油气藏, 储层具有明显的低渗透油藏的特点, 即低孔隙度、低渗透率[2] [4] [6] [7] [8] [9]。吴起油田 G 区块的井基本都未钻穿长 9₂, 因此长 9₁ 是该区块的主力生产层。目前对于吴起油田 G 区块储层特征的相关研究较少。而储层特征研究是进行油气勘探的重要环节, 对评价油藏极为重要, 储层评价的结果对整个油藏的评价也有很大的影响[10]。

目前用来评价致密砂岩储层的方法和参数越来越多, 但是还没有统一的评价标准和参数, 各学者的侧重点不同, 则选取的参数也不相同[11]。因此, 本文在前人研究的基础上, 针对研究区低渗、特低渗的特点, 选择了合适的参数, 即以沉积相为依托, 结合动态的试油资料, 从孔隙度、渗透率和油层厚度这几方面来评价储层。

2. 区域地质概况

2.1. 构造特征

研究区位于陕西省吴起县境内, 南起吴起, 北至周家湾。大地构造位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡的西南部, 东部为晋西挠褶带, 西部为天环拗陷、西缘冲断构造带, 南部与渭北隆起区相邻, 北部为伊盟隆

起。整体呈微向西倾斜的单斜构造，坡度约为 1° [12] [13] [14]，平均坡降为 8~10 m/km，在差异压实的作用下，局部形成了一系列低幅度的鼻状隆起构造，其起伏形态与斜坡的倾向近于一致，无断层发育。

2.2. 地层划分与对比

采用标志层 + 等时旋回对比方法，考虑厚度原则，由“点”到“线”再到“面”，实现整个研究区对比剖面闭合，完成地层对比与划分。以长 7 小层底部的张家滩页岩以及长 8 小层底部的李家畔页岩为两个标志层，将吴起油田长 9 划分为长 9_1 、长 9_2 两个砂层组，又将长 9_1 细分为长 9_1^1 、长 9_1^2 、长 9_1^3 三个小层。长 9_1^1 地层厚度最小 7.3 m，最大 21.5 m，平均 12.5 m；长 9_1^2 地层厚度最小 18.3 m，最大 41.5 m，平均 29 m；长 9_1^3 地层厚度最小 8.8 m，最大 21.8 m，平均 16 m。

2.3. 沉积相特征

对研究区内 X411、X315、X44 等重点井进行岩心观察发现，研究区长 9_1 岩性以灰色、深灰色块状中粗 - 细砂岩为主，夹黑色炭质泥岩，含有植物茎干及叶片。沉积构造常见块状层理、交错层理、冲刷面构造，具典型三角洲前缘沉积特征。

综上分析，认为 G 区长 9_1 储层属于三角洲前缘亚相，沉积微相主要发育有水下分流河道、河道侧缘以及水下分流间湾。物源方向为北东向。河道形态整体上呈北东 - 南西向展布。

如图 1 所示，长 9_1^1 小层中部发育较窄的河道主体，两侧发育宽的河道侧缘以及分流河道间湾；C 9_1^2 小层中部发育一支宽的河道主体，河道侧缘较窄，还发育有分流河道间湾；C 9_1^3 小层发育两支河道，河道主体都较窄，河道侧缘相对较宽。

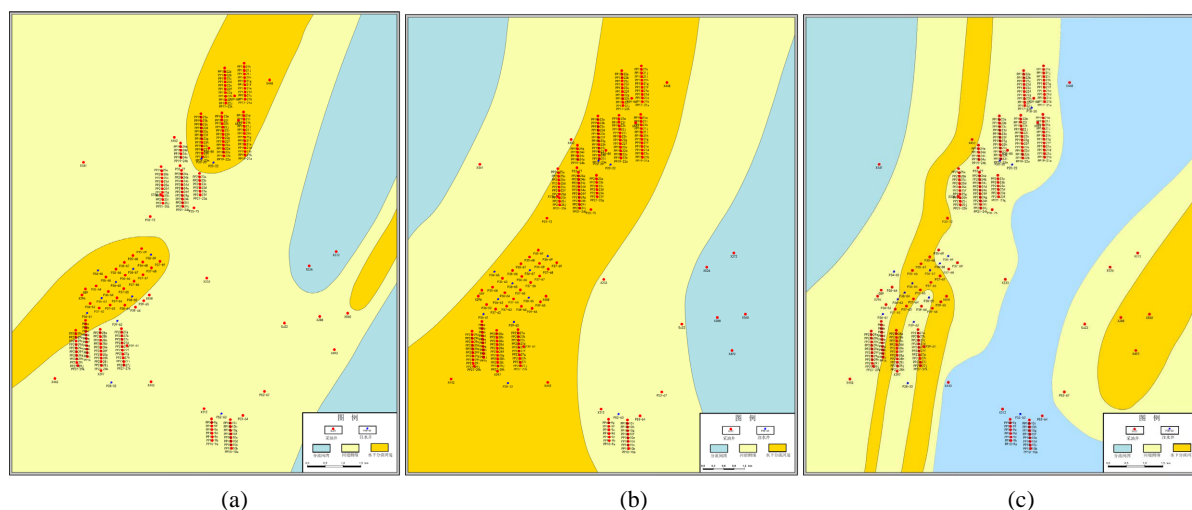


Figure 1. Sedimentary microfacies plan of Chang 9_1 reservoir in block G. (a) Chang 9_1^1 ; (b) Chang 9_1^2 ; (c) Chang 9_1^3

图 1. G 区块长 9_1 储层沉积微相平面图。(a) 长 9_1^1 ; (b) 长 9_1^2 ; (c) 长 9_1^3

3. 储层地质特征

3.1. 岩石学特征

储层的岩石学特征是进行孔喉特征分析及孔隙度和渗透率以及成岩作用等特征研究的基础[15]。通过对常规薄片和铸体薄片的观察，以及 X 衍射等实验数据的分析可知，G 区块长 9_1 储层长石、岩屑含量高，长石岩屑砂岩、岩屑砂岩和岩屑长石细砂岩占主要成分，其次是岩屑砂岩。在砂岩储层中石英的含量平

均为 24.1%，长石含量平均是 34.2%，岩屑含量平均占 41.7%，这说明研究区长 9_1 小层砂岩具有低成分成熟度的特点。

观察和统计薄片资料可以发现，岩石的碎屑颗粒大小在区间 0.2~0.8 mm 之间，磨圆度主要为次棱状，粒度分选为中等~好，胶结类型以孔隙胶结、孔隙 - 薄膜胶结和薄膜 - 孔隙胶结这三类为主。综上可以知道，G 区块长 9_1 储层具有低结构成熟度的特征。

G 区块长 9_1 储层岩屑成分主要有喷发岩、石英岩、隐晶岩、片岩、板岩、千枚岩以及少量沉积岩屑。岩屑多呈现块状分布，普遍含有云母，且其分布相对比较集中，常与细砂形成相间条带。填隙物主要是绿泥石和铁方解石，含量分别是 4.44%、2.79%，其次为方解石、硅质等。长 9_1 储层粘土矿物胶结占总填隙物的 57.5%；碳酸盐岩占 32.6%；硅质胶结占 9.9%。

3.2. 孔隙结构特征

研究区内长 9_1 储层孔隙类型主要为颗粒间孔，含量高达 3.66%，长石溶蚀粒间孔及溶蚀粒内孔次之，含量分别是 1.18% 和 0.24%，微裂隙最少，仅有 0.05%。长 9_1 油藏排驱压力较高，最大进汞饱和度相对较低，喉道分选较好，分选系数 1.18，中值半径 0.07 μm ，表明研究区孔喉以细喉道为主，孔隙结构为小孔微细喉型。

3.3. 物性特征

研究区长 9_1 储层的孔隙度分布区间主要是 6%~10%，平均孔隙度为 7.2%；渗透率的分布区间主要为 0.01~0.6 mD，平均渗透率为 0.27 mD；其中河道主体的平均孔隙度最大，达到 8.3% 左右。长 9_1 储层总体上属于低孔 - 特低孔、特低渗 - 超低渗储层。由于沉积环境的差异及成岩演化不同，长 9_1^1 、长 9_1^2 和长 9_1^3 小层的物性在平面上表现出较强的非均质性，且发育有夹层。但总体上孔隙度、渗透率展布与砂体展布基本一致。

长 9_1 三个小层中，以长 9_1^2 储层物性相对最好，其次为长 9_1^1 ，长 9_1^3 储层物性相对最差。研究区长 9_1^1 小层随着砂体发育的逐渐萎缩，砂岩储集物性也有所变差，孔隙度大于 10% 的相对高孔带及渗透率大于 0.6 mD 的高渗带主要在研究区西南部、东南部地区呈条带状、土豆状展布，储集物性最好的区域集中在研究区东南部；长 9_1^2 小层随着砂体发育的逐渐变好，砂岩储集物性也逐渐变好，孔隙度大于 8% 的相对高孔带及渗透率大于 0.6 mD 的高渗带几乎在研究区全区呈片状展布，特别是在研究区西北部和东南部，砂岩储集性能最好；长 9_1^3 小层孔隙度大于 10% 的相对高孔带及渗透率大于 0.6 mD 的高渗带主要在研究区西北部、西南部呈土豆状、零星状展布，而研究区中部、东北部地区砂岩储集物性较差。

3.4. 成岩作用

G 区块长 9_1 储集砂岩处于晚成岩阶段 A 期的晚期到 B 期的早期这一阶段[16]。由于压实作用属于破坏性成岩作用，那么在它的挤压作用下，塑性岩屑就会发生弯曲变形，刚性碎屑会发生碎裂。这就会使得原生孔隙大量减少。在某些层位中，粘土矿物和方解石胶结物的含量可达 15%，并形成连生胶结，造成砂岩的孔隙度损失严重。溶蚀作用是建设性成岩作用，溶蚀形成的次生粒内溶孔可以增加孔隙的面孔率，因此对研究区长 9_1 储层的孔隙度具有一定的贡献，平均值可达 2.87%。

4. 储层评价

4.1. 评价标准

要进行储层评价前必须选择合适参数作为评价标准。应充分考虑鄂尔多斯盆地储层低孔低渗的特点，

再结合吴起油田 G 区块长 9₁ 的储层具体物性特征。选取了沉积特征、物性特征、油层厚度等作为储层评价的主要参数。其中, 沉积相等可以反映储层的宏观特征; 孔隙度、渗透率等物性特征则能够很好地反映储层孔隙结构。同时分析了研究区内的试油试采等动态生产资料。最终得到了一个适合 G 区块长 9₁ 的储层评价标准, 具体的分类评价参数如表 1 所示。主要分为三类储层, I 类储层是优质储层, 渗透率大于等于 0.5 mD, 孔隙度大于等于 0.9%, 油层厚度大于等于 8.0 m, 主要分布在水下分流河道。II 类储层是较好储层, 渗透率区间在 0.2 mD~0.5 mD 之间, 孔隙度分布区间在 7.0%~9.0%, 油层厚度在 2.0 m~8.0 m 之间, 主要分布在河道侧缘和水下分流河道。III 类储层是一般储层, 物性相对来说最差, 渗透率在 0.1 mD~0.2 mD 之间, 孔隙度在 5.0%~7.0% 之间, 油层厚度小于 2.0 m, 多分布在河道侧缘和河流间湾。

Table 1. Comprehensive classification and evaluation of Chang 9 reservoir in the study area

表 1. 研究区长 9 储层综合分类评价表

参数分类		I	II	III
沉积微相		水下分流河道	河道侧缘、水下分流河道	河道侧缘、河流间湾
物性	渗透率(mD)	≥0.5	0.5~0.2	0.2~0.1
	孔隙度(%)	≥9.0	9.0~7.0	7.0~5.0
油层厚度(m)		≥8.0	8.0~2.0	≤2.0
储层评价		优质储层	较好储层	一般储层

4.2. 评价结果

研究区长 9₁ 的三个小层储层综合评价结果如图 2 所示, 从整体分布来看, 从长 9₁³ 段到长 9₁² 段再到长 9₁¹ 段, 随着砂体的逐渐发育, 储层物性变好后变差, 储层类型也随之先变好后变差, I 类和 II 类储层的发育面积先增加后减小, 其中以长 9₁² 段砂岩储层的储层类型最好, 以 I 类和 II 类储层为主。

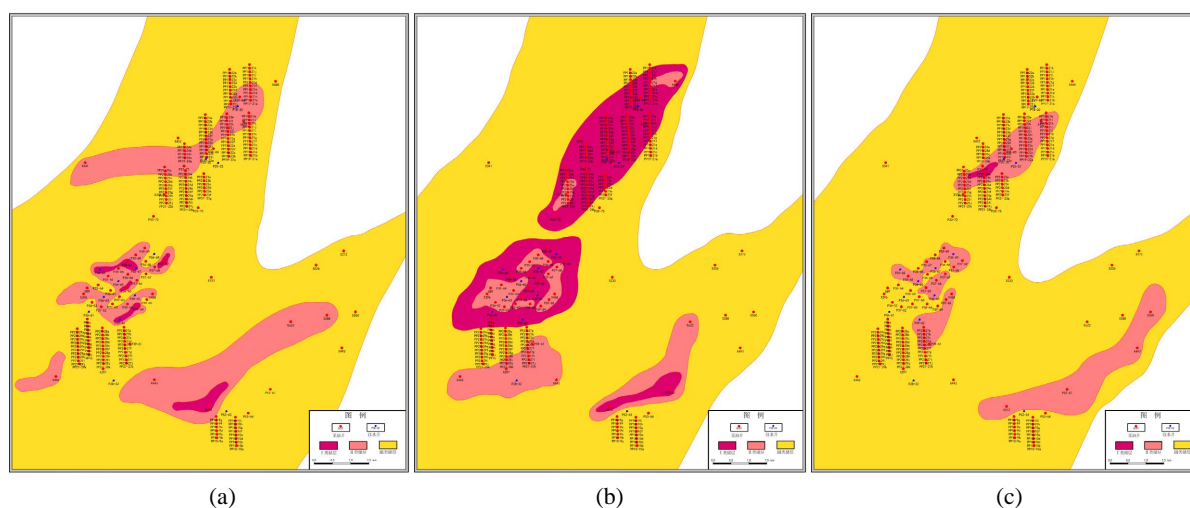


Figure 2. Comprehensive evaluation of Chang 9₁ reservoir in block G. (a) Chang 9₁¹; (b) Chang 9₁²; (c) Chang 9₁³

图 2. G 区块长 9₁ 储层综合评价图。(a) 长 9₁¹; (b) 长 9₁²; (c) 长 9₁³

5. 结论

- 1) 研究区长 9₁ 储层属于三角洲前缘亚相, 沉积微相主要发育有水下分流河道主体、河道侧缘、分流

间湾；储层岩石类型以灰色、深灰色块状中粗 - 细砂岩为主。

2) 长₉₁储层属于低孔 - 特低孔、特低渗 - 超低渗储层。孔隙结构属小孔微细喉型。

3) 本文以沉积相为依托，采用孔隙度、渗透率和油层厚度作为评价参数，制定了一套适合研究区储层的评价标准。最终将长₉₁砂岩储层共划分出三类储层，其中 I 类和 II 类储层是目前勘探开发的主要目标。

参考文献

- [1] 杨振亚, 罗辉, 周宾宾, 刁广智, 李小龙. 致密砂岩储层微观水驱油实验及剩余油分布特征——以鄂尔多斯盆地吴起油田 L1 区长 7 储层为例[J]. 新疆石油天然气, 2020, 16(4): 59-65+I0004.
- [2] 冯文金. 低渗透油藏长 9 储层开发效果评价方法[J]. 石化技术, 2018, 25(9): 307.
- [3] 王晓琳, 张小莉, 王祥, 杨振, 李亚军. 鄂尔多斯盆地中南部延长组长 8 致密储层特征和成岩作用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(5): 877-890. <https://doi.org/10.16152/j.cnki.xdxbzr.2021-05-017>
- [4] 姚泾利, 赵彦德, 邓秀芹, 郭正权, 罗安湘, 楚美娟. 鄂尔多斯盆地延长组致密油成藏控制因素[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(4): 983-992. <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.201504102>
- [5] 马世东, 张东阁, 徐鹏程, 邵杰. 鄂尔多斯盆地五蛟地区长 7 油层组储层特征及控制因素[J]. 科学技术创新, 2021(34): 33-35.
- [6] 马文强, 邓亚仁, 任战利. 吴起-志丹地区致密油成藏主控因素研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2016, 29(6): 66-71.
- [7] 付金华, 董国栋, 周新平, 惠潇, 淡卫东, 范立勇, 王永刚, 张海涛, 古永红, 周国晓. 鄂尔多斯盆地油气地质研究进展与勘探技术[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3): 19-40.
- [8] 姜虹, 王云. 吴起油田延长组长₉储层特征研究[J]. 装备维修技术, 2019(3): 63+130. <https://doi.org/10.16648/j.cnki.1005-2917.2019.03.055>
- [9] 马金花. 试论吴起油田长 9 油藏分布的特征[J]. 石化技术, 2019, 26(9): 141+144.
- [10] 陈彦武, 李博, 焦众鑫, 赵金. 吴起油田贺阳山油区延长组长 9 储层特征研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(24): 61-62. <https://doi.org/10.13487/j.cnki.imce.019039>
- [11] 郭轩豪. 陇东地区长 7 致密砂岩储层特征及综合评价技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2021. <https://doi.org/10.27400/d.cnki.gxasc.2021.000485>
- [12] 王道富. 鄂尔多斯盆地特低渗透油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 5-60.
- [13] 冷丹凤, 李杰, 罗小蓉, 赵逸, 陈立军, 王彩霞. 鄂尔多斯盆地吴起地区直罗组储层敏感性研究[J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46(10): 109-113.
- [14] 孟子圆, 孙卫. 吴起地区长 6 储层特征及成岩作用研究[J]. 非常规油气, 2019, 6(6): 7-14.
- [15] 罗婷婷, 姚振杰, 段景杰, 李剑, 赵永攀. 低渗透油藏储层特征描述及三维地质建模研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2020, 40(3): 40-44.
- [16] 金绍臣, 乔良, 庄腾腾, 周宁杰, 袁方, 樊红, 黄少伟. 吴起油田 C9 储层成岩阶段及成岩相特征研究[J]. 石油化工应用, 2019, 38(1): 101-103.