

鄂尔多斯盆地东缘临兴中区致密砂岩有效储层物性下限分析

段长江¹, 陆小霞², 高计县³, 王凯芸⁴, 吴 鹏³, 李晶晶¹

¹中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

²中海油研究总院, 北京

³中联煤层气有限责任公司, 北京

⁴东方地球物理公司装备服务处, 河北 涿州

Email: duanchj@cnooc.com.cn

收稿日期: 2021年4月21日; 录用日期: 2021年5月19日; 发布日期: 2021年5月27日

摘 要

为了获得鄂尔多斯盆地东缘临兴中区石盒子组致密砂岩有效储层物性下限, 本文通过薄片鉴定、岩心测试、测井解释、压裂试气等数据, 分析了储层岩性特征、产能特征以及物性下限。结果表明: 上石盒子组压裂产能孔隙度下限为7%, 下石盒子组压裂产能孔隙度下限为6.5%, 压裂产能渗透率下限为0.2 mD。本次研究明确了有效储层的参数标准, 为储层压裂改造提供了理论支撑, 有助于提高压裂成功率, 获得更高工业产能。

关键词

致密气, 产能, 物性, 石盒子组, 临兴中区

Study on the Lower Effective Limit of Porosity and Permeability of Tight Gas Reservoir in Linxing Middle Block, Eastern Margin of Ordos Basin

Changjiang Duan¹, Xiaoxia Lu², Jixian Gao³, Kaiyun Wang⁴, Peng Wu³, Jingjing Li¹

¹CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin

²CNOOC Research Institute, Beijing,

³China United Coalbed Methane Corporation Ltd., Beijing

⁴Equipment Service Department of BGP Inc., Zhuozhou Hebei

Email: duanchj@cnooc.com.cn

文章引用: 段长江, 陆小霞, 高计县, 王凯芸, 吴鹏, 李晶晶. 鄂尔多斯盆地东缘临兴中区致密砂岩有效储层物性下限分析[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(5): 668-676. DOI: 10.12677/ag.2021.115062

Received: Apr. 21st, 2021; accepted: May 19th, 2021; published: May 27th, 2021

Abstract

In order to obtain the lower effective limit of porosity and permeability of the tight sandstone reservoir of the Shihezi Formation, the central Linxing area of the Ordos Basin, this paper analyzes the lithological characteristics, productivity characteristics, and lower limits of physical properties of tight gas reservoir through data, such as thin slice identification, core testing, well logging interpretation, and fracturing gas testing. The results show that the lower limit of fracturing productivity porosity in the upper Shihezi Formation is 7%, and in the lower Shihezi Formation is 6.5%. The lower limit of fracturing productivity permeability is 0.2 mD. This study clarified the parameter standards of effective reservoirs, provided theoretical support for reservoir fracturing reformation, and helped to increase the success rate of fracturing and obtain higher industrial production capacity.

Keywords

Tight Gas, Productivity, Reservoir Property, Shihezi Formation, Linxing Middle Block

Copyright © 2021 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

有效储层是指具有一定的储集空间和渗流能力的、在现有工艺条件下能够采出具有工业产量的油气的储集层[1]。根据储层的物性、电性、含气性特征等确定的有效厚度参数统称为有效储层物性标准,其能够储集和渗流的最小孔隙度和最小渗透率称为有效储层物性下限[2]。确定有效储层物性下限方法较多,如试气法、经验统计法[3]、最小流动孔喉半径法[4]、分布函数法等[5]。

致密砂岩气藏属于低孔、低渗气藏,一般需通过压裂改造才能获得工业气流。因此,试气法和经验统计法是最常用来确定其物性下限的方法。鄂尔多斯盆地苏里格、大牛地等气田大多采用这种方法[6] [7]。作为一个较新的勘探区,鄂尔多斯盆地东缘临兴中区块是近年才开始大规模勘探开发,并取得了一定的突破,其压裂测试最高产能超过 50 万方/天。随着该区勘探的不断深入,钻井数量逐渐增大,压裂试气井不断增多,然而,一部分井经过压裂测试可获得工业气流,但也有一部分井经过压裂改造后仍无法获得工业气流。如此则明显增加了储层改造的风险和施工成本。基于以上问题,亟需确定能够获得工业产能的储层物性下限,以便为压裂方案调整及科学实施提供支撑,同时也为储量计算体提供合理的物性参数。

本文基于研究区大量的钻井数据、试气测试数据等第一手资料,分析临兴中区块致密砂岩气主要开发层位(上石盒子组、下石盒子组)有效储层物性下限,并建立储层物性与产能的匹配性,确定致密砂岩有效储层物性下限,进而指导研究区储层改造方案的调整和实施,推动勘探开发一体化工作,为区块获得更高的试气产率及产能提供技术支撑。

2. 研究区地质背景

鄂尔多斯盆地位于华北地台西缘,属于华北地台的次级构造单元,盆地可划分为西缘逆冲带、天环

坳陷、伊陕斜坡、渭北挠褶带、晋西挠褶带和伊盟隆起等六个构造单元。临兴中气田位于鄂尔多斯盆地东北部的晋西挠折带(见图 1), 受区域应力场和紫金山火成岩体侵入的综合影响, 该区构造复杂, 共发育三个主要构造带: 紫金山隆起区、环紫金山构造带、平缓构造带。紫金山构造区发育逆断层, 断层规模较大, 构造起伏大, 紫金山外围区逆断层和陷落柱较发育, 构造幅度较小, 平缓构造带断层发育较少[8] [9]。

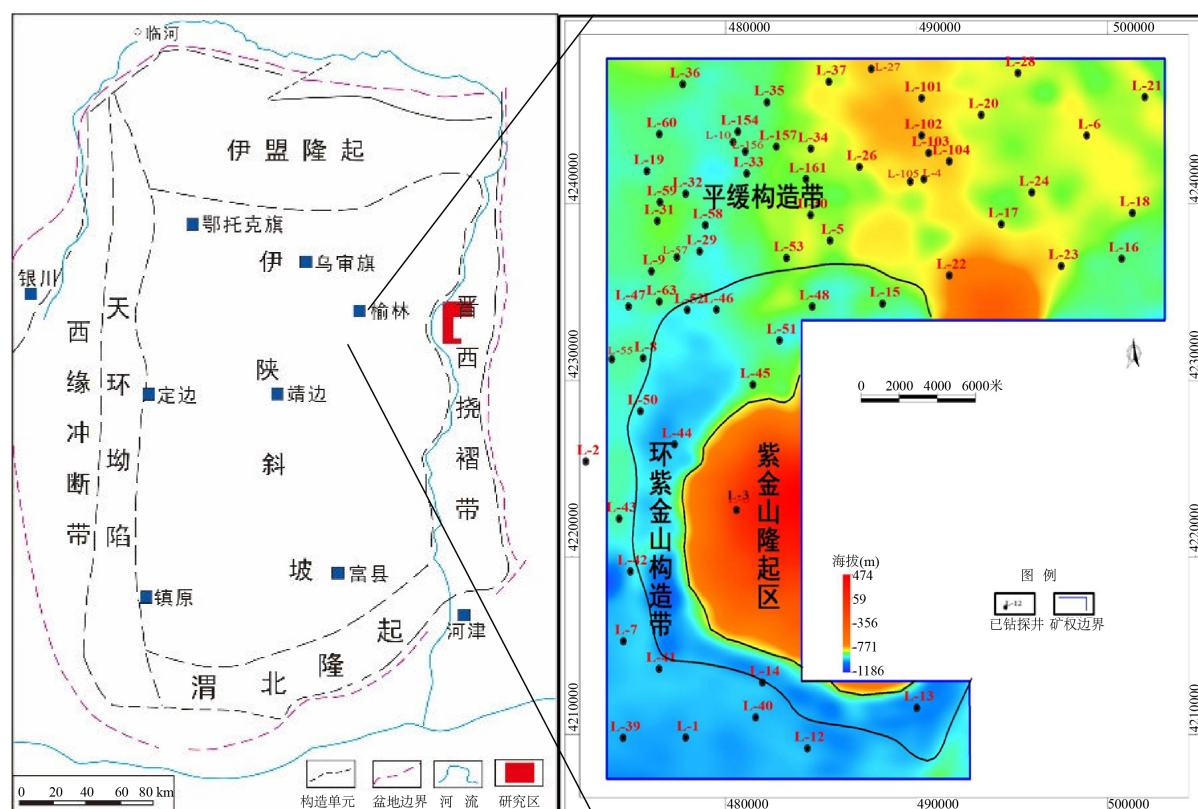


Figure 1. Structure and location of Linxing middle block
图 1. 临兴中区块构造及位置图

研究区上古生界地层与下古生界地层呈不整合接触, 中间缺失中上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统地层。上古生界地层内部沉积连续, 均为整合接触, 以海陆过渡相 - 陆相碎屑岩沉积为主, 地层自下而上发育石炭系本溪组、二叠系太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组。其中本溪组、太原组、山西组发育致密砂岩层、煤层、灰岩及泥岩, 上、下石盒子组及石千峰组主要发育砂岩、泥岩。研究区主要的勘探层位为太原组、下石盒子组、上石盒子组, 其次为本溪组、山西组、石千峰组[10] [11]。

3. 储层特征

通过薄片鉴定和粒度分析可知, 临兴中区块上古生界地层岩性以石英砂岩、岩屑石英砂岩、长石砂岩、岩屑长石砂岩为主(图 2)。其中下石盒子组岩性主要为岩屑长石砂岩、岩屑长石砂岩及岩屑石英砂岩, 含少量长石石英砂岩, 成分成熟度中等, 石英含量平均为 64.7%, 长石含量平均为 16.6%, 岩屑含量平均 18.7%。上石盒子组岩性主要为长石砂岩和岩屑长石砂岩, 含少量长石石英砂岩, 成分成熟度中等偏低, 石英含量平均 57.9%, 长石含量平均 28.6%, 岩屑含量平均 13.5%。自下而上可知, 石英含量逐渐降低, 长石含量逐渐增加, 成分成熟度变低, 反映距离物源越来越远的特征。

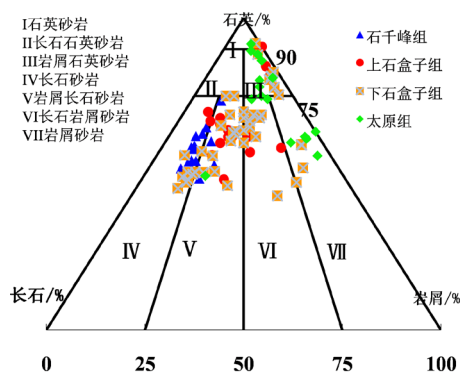


Figure 2. Triangulation of sandstone classification in Linxing middle block

图 2. 临兴中区块砂岩分类三角图

根据岩芯测试资料, 对各层储层物性进行分析(表 1), 上石盒子组平均孔隙度为 8.11%, 平均渗透率为 1.06 mD, 下石盒子组平均孔隙度为 8.1%, 平均渗透率为 0.78 mD, 物性较好。整体而言, 临兴中区块石盒子组为低孔、低渗储层, 且非均质性较强[12] [13] [14]。

Table 1. Physical characteristics of each layer in Linxing middle block

表 1. 临兴中区块各层位物性特征分布

层位	样品数	平均孔隙度(%)	平均渗透率(mD)	最大孔隙度(%)	最大渗透率(mD)
上石盒子组	922	8.11	1.06	19.81	336.04
下石盒子组	854	8.10	0.78	22.29	399.69

4. 产能特征

临兴中区块已进行超过 80 井 150 层次的试气测试, 获得工业气流井占比超过 80%。测试层位从下至上包括本溪组、太原组的太 2 段和太 1 段、下石盒子组盒 8 段、盒 7 段、盒 6 段、盒 5 段、上石盒子组盒 4 段、盒 3 段、盒 2 段、盒 1 段、石千峰组千 4、5 段。除本溪组暂未取得有效产能外, 其余测试均有产能显示。从目前测试结果来看, 上石盒子组产能最高, 尤其是盒 2、盒 4 段, 平均无阻流量超过 8 万方/天。其次是太原组, 平均无阻流量超过 4 万方/天。下石盒子组平均无阻流量超过 2 万方/天。石千峰组平均无阻流量低于 2 万方/天, 产能相对较低(图 3)。

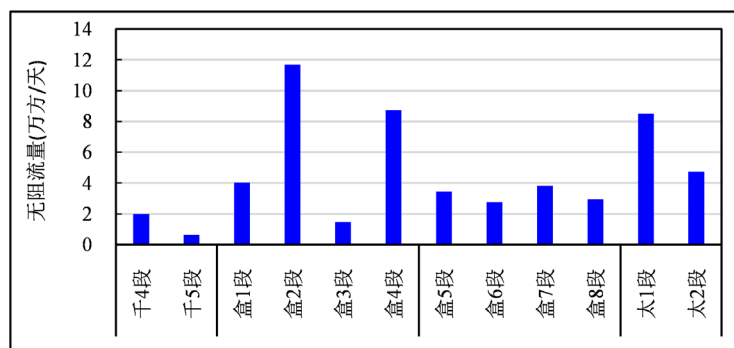


Figure 3. Productivity of Linxing middle block

图 3. 临兴中区块各层位产能统计图

5. 储层物性与产能的耦合

确定储层物性下限的方法较多，有试气法、经验统计法等[15] [16]。本文采用试气法，并制定相应的图版来进行确定。

5.1. 渗透率下限

利用单层测试结果与物性参数的统计关系确定储层的物性下限。

采用临兴中区块石盒子组共 20 口井的试气资料，作对应层位渗透率与单位厚度日产气关系图，确定渗透率自然产能下限为 1 mD，压裂产能下限为 0.2 mD (图 4)。

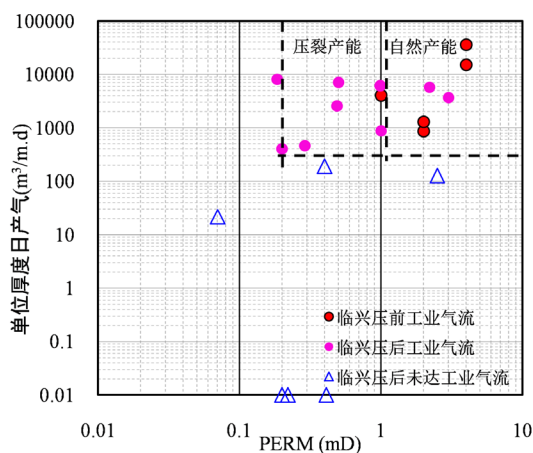


Figure 4. The relationship between unit thickness gas production and analysis permeability of Shiqifeng and Shihezi formation in Linxing middle block
图 4. 临兴中区块石盒子组储层单位厚度采气量与分析渗透率关系图

5.2. 孔隙度下限

利用渗透率下限值，在孔隙度与渗透率关系曲线上求取对应的孔隙度下限。

临兴中区块上古生界各层段岩石分析孔隙度与渗透率具有较好的相关性，由孔 - 渗关系图(图 5、图 6)分析可得：

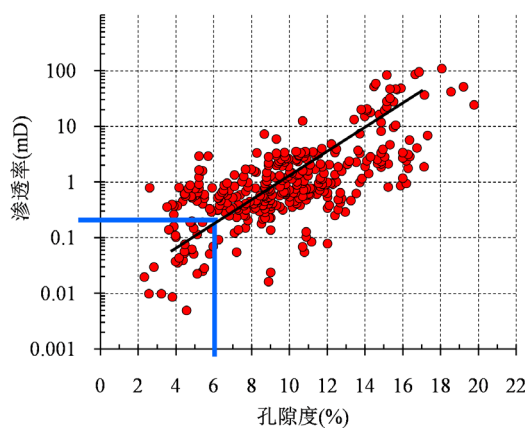


Figure 5. The relationship between porosity and permeability of upper Shihezi formation in Linxing middle block
图 5. 临兴中区块上石盒子组砂岩储层分析孔隙度与渗透率关系图

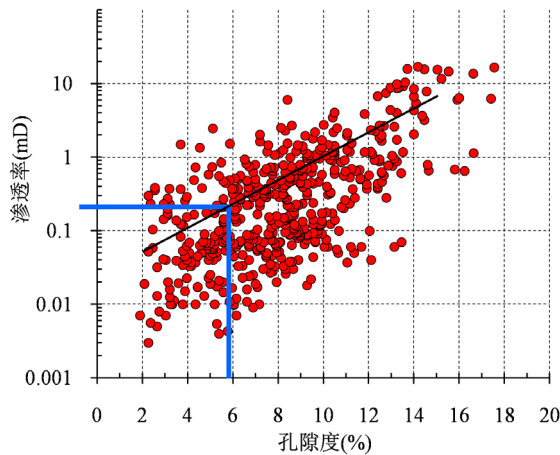


Figure 6. The relationship between porosity and permeability of lower Shihezi formation in Linxing middle block

图 6. 临兴中区块下石盒子组砂岩储层分析孔隙度与渗透率关系图

上石盒子组储层当渗透率取 0.2 mD 时，对应的孔隙度下限值为 7.0%；

下石盒子组储层当渗透率取 0.2 mD 时，对应的孔隙度下限值为 6.5%。

6. 有效储层物性下限分析

6.1. 上石盒子组下限分析

采用 13 口试气井读取 16 个层点作电阻率 - 孔隙度交会图、声波时差与深感应电阻率交会图，并利用测井解释参数作泥质含量与密度交会图(图 7~9)。根据交会图确定上石盒子组自然产能下限值为：孔隙度 $\geq 13\%$ ，泥质含量 $\leq 15\%$ ，密度 $\leq 2.44 \text{ g/cm}^3$ ，含气饱和度 $\geq 40\%$ ；压裂产能下限值为：孔隙度为 7%~13%，泥质含量 $\leq 22\%$ ，密度 $\leq 2.56 \text{ g/cm}^3$ ，含气饱和度 $\geq 40\%$ 。电性下限值为电阻率 $\geq 10 \Omega \cdot \text{m}$ 。

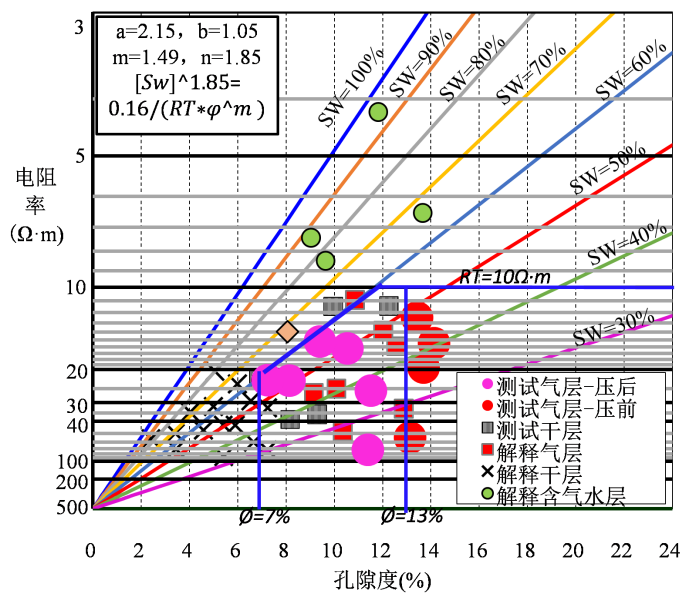


Figure 7. Hingle resistivity-porosity chart of upper Shihezi formation in Linxing middle block

图 7. 临兴中区块上石盒子组 Hingle 电阻率 - 孔隙度图版

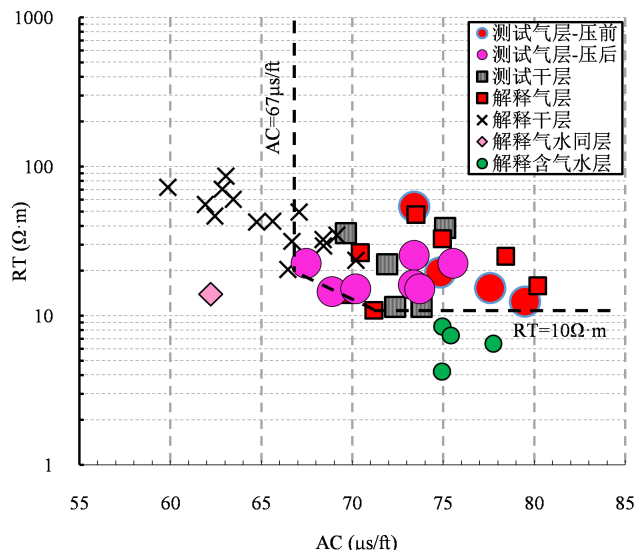


Figure 8. Crossplot of acoustic and deep response resistivity of upper Shihezi formation in Linxing middle

图 8. 临兴中区块上石盒子组砂岩储层声波时差与深感应电阻率交会图

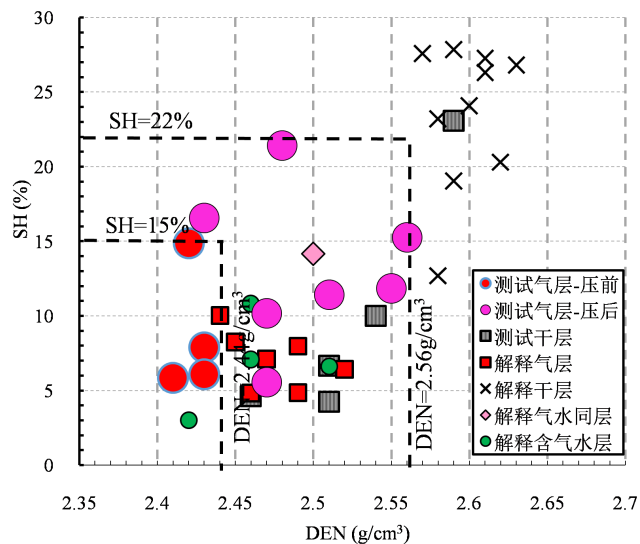


Figure 9. Crossplot of density and shale content of upper Shihezi formation in Linxing middle block

图 9. 临兴中区块上石盒子组砂岩储层测井密度与泥质含量交会图

6.2. 下石盒子组下限分析

采用 18 口试气井读取 23 个层点分别作电阻率 - 孔隙度交会图、声波时差与深感应电阻率交会图，并利用测井解释参数作泥质含量与密度交会图等(图 10~12)。根据交会图综合分析，确定下石盒子组自然产能下限值为：孔隙度 $\geq 10\%$ ，泥质含量 $\leq 15\%$ ，密度 $\leq 2.48 \text{ g/cm}^3$ ，含气饱和度 $\geq 40\%$ ；压裂产能下限值为：孔隙度为 $6.5\% \sim 10\%$ ，泥质含量 $\leq 21\%$ ，密度 $\leq 2.59 \text{ g/cm}^3$ ，含气饱和度 $\geq 40\%$ ，深感应电阻率 $\geq 10 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ 。

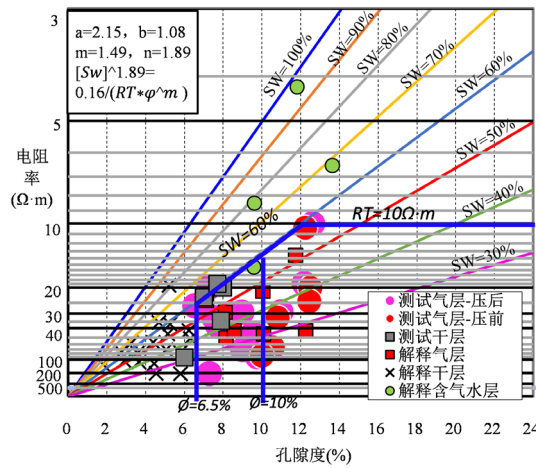


Figure 10. Hingle resistivity-porosity chart of lower Shihezi formation in Linxing middle block
 图 10. 临兴中区块下石盒子组 Hingle 电阻率 - 孔隙度图版

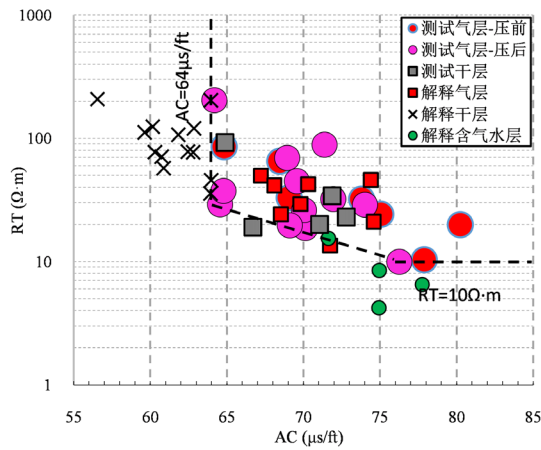


Figure 11. Crossplot of acoustic and deep response resistivity of lower Shihezi formation in Linxing middle
 图 11. 临兴中区块下石盒子组砂岩储层声波时差与深感应电阻率交会图

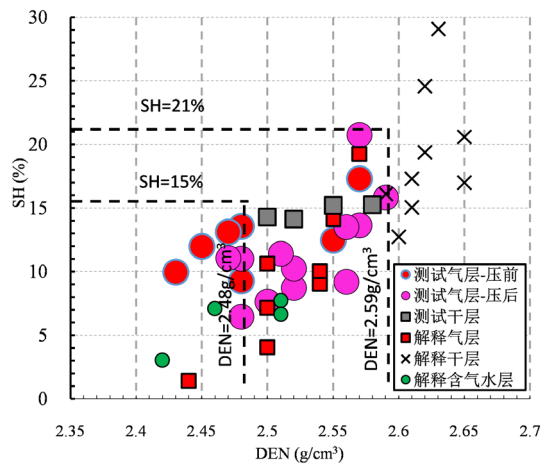


Figure 12. Crossplot of density and shale content of lower Shihezi formation in Linxing middle block
 图 12. 临兴中区块下石盒子组砂岩储层测井密度与泥质含量交会图

7. 结论

1) 临兴中区压裂测试结果显示, 上石盒子组产能最高, 尤其是盒 2、盒 4 段, 平均无阻流量超过 8 万方/天; 下石盒子组平均无阻流量超过 2 万方/天。产能特征与物性较匹配关系良好。通过渗透率与单位厚度日产气关系图, 确定渗透率自然产能下限为 1 mD, 压裂产能下限为 0.2 mD。

2) 综合试气法、经验统计法等综合分析, 编制交汇图版, 结果显示: 下石盒子组自然产能下限孔隙度值 $\geq 10\%$, 压裂产能下限孔隙度值为 6.5%~10%; 上石盒子组自然产能下限孔隙度值 $\geq 13\%$, 压裂产能下限孔隙度值为 7%。

3) 临兴中区石盒子组致密砂岩有效储层物性下限储层改造方案的调整 and 有效实施为该地区储量计算提供了有效的物性参数, 同时为致密砂岩储层物性下限研究提供了理论参考。

基金项目

海油发展重大专项“临兴区块致密砂岩气藏储层伤害评价及预防技术研究”(HFKJ-GJ2020-02)。

参考文献

- [1] 姜航, 庞雄奇, 施和生, 等. 基于毛细管力的有效储层物性下限判别[J]. 地质论评, 2014(4): 869-876.
- [2] 殷树军, 范晓敏. 考虑埋深的物性下限确定方法——以 G 油田 P 油层为例[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(16): 3783-3785, 3790.
- [3] 张安达, 潘会芳. 致密储层物性下限确定新方法及其应用[J]. 断块油气田, 2014(5): 623-626.
- [4] 柴愈坤, 刘伟新, 戴宗, 等. 深水气田区域孔隙度下限多方法研究及应用[J]. 地质科技情报, 2017(1): 232-235.
- [5] 郑定业, 庞雄奇, 张可, 等. 玛湖凹陷西斜坡致密油藏有效储层物性下限确定[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(24): 196-203.
- [6] 杨小明, 石玉江, 张海涛, 等. 苏里格气田致密气下限重新认识[J]. 测井技术, 2014, 38(3): 325-329.
- [7] 黎菁, 赵峰, 刘鹏. 苏里格气田东区致密砂岩气藏储层物性下限值的确定[J]. 天然气工业, 2012, 32(6): 31-35, 106.
- [8] 陈晓智, 庞雄奇, 邵新荷, 等. 鄂尔多斯盆地临兴 A 地区下石盒子组致密砂岩气成藏条件[J]. 地质科技情报, 2018, 37(1): 169-176.
- [9] 刘畅, 王琪, 王应斌. 鄂尔多斯盆地临兴中区块上古生界盒 8 段储层发育控制因素[J]. 中国海上油气, 2018, 30(1): 50-61.
- [10] 傅宁, 杨树春, 贺清, 等. 鄂尔多斯盆地东缘临兴-神府区块致密砂岩气高效成藏条件[J]. 石油学报, 2016, 37(S1): 111-120.
- [11] 刘畅. 鄂尔多斯盆地临兴地区上古生界层序地层格架及沉积模式[J]. 非常规油气, 2019, 6(1): 23-33.
- [12] 赵达, 许浩, 汤达祯, 等. 临兴地区下石盒子组致密砂岩储层成岩作用及有利成岩相研究[J]. 科技通报, 2016, 32(7): 30-35.
- [13] 刘喜杰, 马遵敬, 韩冬, 等. 鄂尔多斯盆地东缘临兴区块致密砂岩优质储层形成的主控因素[J]. 天然气地球科学, 2018, 29(4): 481-490.
- [14] 金力钻, 孙玉红, 杨铁梅, 等. 致密砂岩气层测井综合识别方法与应用效果——以临兴-神府区块上古生界为例[J]. 国外测井技术, 2015(5): 18-21.
- [15] 赵钊, 李治平, 赖枫鹏, 等. 致密气藏一点法公式在大牛地气田的应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(30): 28-32.
- [16] 刘栋, 过敏, 王君泽, 等. 大牛地气田盒 1 段致密气特征及评价新方法[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(13): 41-51, 62.