

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.017

准噶尔盆地哈山构造南缘斜坡带侏罗系八道湾组一段储层特征及有利储层定量评价

张瑞香¹, 杨悦¹, 王延章¹, 王杰²

(1. 中国石油大学胜利学院油气工程学院, 山东 东营 257000; 2. 中国石化胜利油田技术检测中心, 山东 东营 257000)

摘 要:哈山构造南缘斜坡带西北临哈拉阿拉特山, 东南与乌夏断裂带、玛湖凹陷相接, 油气储量丰富, 储层特征复杂多变, 勘探程度低, 含油主力区块尚不明确。本次结合实际资料, 在沉积相及储层特征研究基础之上, 以侏罗系八道湾组一段储层为例, 分析储层参数间的相关性对储油性能的影响, 采用灰色关联分析法对储层储油性能进行定量评价, 明确了各储层参数间的相关性及八道湾组一段储层的综合储油性能, 指出了主力含油区带。研究表明, 可将八道湾组一段划分为 4 类储层, 其中 I、II 类为有利储层, 主要分布在 Hq2、Hq1 及 Hsha2 井区域, 沉积岩相主要为砂砾岩及细砂岩, 物性好; II 类及 III 类储层分布较广, 为下步勘探开发工作的重点。

关键词:灰色关联分析; 定量评价; 储层特征; 八道湾组一段; 哈山构造南缘斜坡带

中图分类号: TE122

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)02-0253-10

Reservoir Characteristics and Favorable Reservoir Quantitative Evaluation of the First Member of Badaowan Formation in the Southern Margin of the Hashan Tectonic Zone, Junggar Basin

ZHANG Ruixiang¹, YANG Yue¹, WANG Yanzhang¹, WANG Jie²

(1. Department of Oil & Gas Engineering of Shengli College, China University of Petroleum, Dongying, 257000, Shandong, China; 2. Technology Inspection Center of Shengli Oilfield SINOPEC, Dongying 257000, Shandong, China)

Abstract: the slope of the southern margin of Hashan tectonic zone is near Hararat Mountains in the northwest, and is connected with the Wuxia fault belt and Mahu sag in the southeast. The reserves of oil and gas are abundant, and the reservoir characteristics are complex and changeable. The exploration degree in this area is limited and the main oil-bearing blocks are still unclear. Based on the study of sedimentary facies and reservoir characteristics, this paper takes the first member of Badaowan formation of Jurassic as an example, analyzing the influence of correlation between reservoir parameters on oil storage performance. This paper quantitatively evaluates each reservoir oil storage performance by using grey relational analysis method. The correlation between the reservoir parameters and comprehensive oil storage performance are clarified, and the

收稿日期: 2019-07-30; **修回日期:** 2019-11-04

基金项目: 国家科技重大专项课题“复杂油藏开发过程中场变及对裂缝的影响”(2017ZX05013006-003), 中国石油大学胜利学院课题“扇三角洲储层构型及控制下的剩余油分布模式研究”(KY2017024)

作者简介: 张瑞香(1986-), 女, 山东东营人, 讲师, 主要从事储层地质及油藏精细描述工作。E-mail: zhangruixiang605@163.com

main oil bearing zone is pointed out. The results show that the first member of the Badaowan formation can be divided into four types of reservoirs. Type I and type II are favorable reservoirs, mainly distributed in areas of Hq2、Hq1 and Hsha2 wells. The sedimentary facies are mainly sandy conglomerate and fine sandstone with good physical properties. Type II and III reservoirs are widely distributed, being the focus of the future exploration and development.

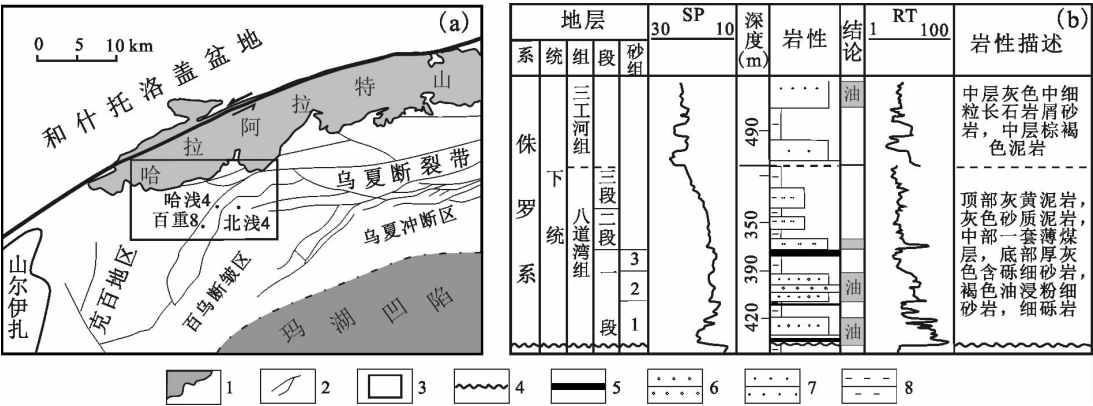
Keywords: Grey relational analysis method; quantitative evaluation; reservoir characteristics; the first member of Badaowan formation; the slope of southern margin of Hashan tectonic zone

哈山构造南缘斜坡带西北临哈拉阿拉特山, 东南与乌夏断裂带、玛湖凹陷相接(王圣柱等, 2017; 张奎华等, 2015; 王圣柱等, 2017), 油气储量丰富, 已先后发现凤城、乌尔禾、春晖等油田(胡青等, 2017; 董臣强等, 2014; 陈平等, 2015)。其中侏罗系八道湾组一段作为主力含油层位, 储层特征复杂, 勘探程度较低, 含油主力区块尚不明确, 严重影响了后续的勘探开发进展。故本次在沉积、储层研究基础之上开展储层综合评价。目前储层综合评价常用方法多见专家经验、熵权模糊数学法(张广权等, 2016; 朱谨谨等 2019)、层次分析法(何琰, 2011; 王建东等, 2003)及主成分分析法(孙耀庭等, 2016; 潘荣等, 2014)等, 但随着储层研究的逐渐成熟, 储层参数间的相关约束性对储层整体性能的影响研究越来越受学者们的青睐, 部分学者尝试采用灰色系统理论法对储层整体储油性能进行量化评价(朱兆群等, 2017; 李娜等, 2007; 程启贵等, 2010; 刘吉余等, 2005), 并取得了显著效果。研究区侏罗系八道湾组一段含有大量砾石, 泥质含量高, 储层孔喉发育差异性大, 储层参数间的相关性明显, 储层非均质性强, 主力含油区有待进一步明确。本次结合实际, 采用灰色关联分析方

法对该储层进行了定量评价, 明确了各储层参数间的相关性及储油综合性能, 以期更好的推动后续勘探开发进展(单衍胜等, 2018)。

1 区域地质概况

哈山构造带位于准噶尔盆地的西北缘, 主要指哈拉阿拉特山地区, 区域构造位于哈德构造西部, 西北以哈拉阿拉特山为界, 东南与乌夏断裂带、玛湖凹陷北部斜坡带相接(王圣柱等, 2017; 林师瑶, 2014)。哈山构造南缘斜坡带是胜利油田西部勘探开发的重大潜力区块之一, 地表出露石炭系、二叠系及白垩系, 其余均被第四纪地层覆盖。钻井揭示该区地层发育石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系, 其中侏罗系八道湾组(J₁b)为该区主力油层, 自下而上八道湾组可分为 3 段, 整体属于先水进后水退沉积环境。目的层八道湾组一段细分为 3 个砂组, 其中 1、2 砂组储层均含有大量的砾石, 储层特征复杂, 含油丰富; 3 砂组主要为泥岩夹多套煤层沉积(单衍胜等, 2018), 可作为下部 1、2 砂组的盖层(图 1)。



1. 研究区; 2. 断层; 3. 研究区; 4. 不整合面; 5. 煤层; 6 细砾岩; 7. 细砂岩; 8 泥岩; a. 区域位置图; b. 综合柱状图

图 1 区域构造位置与地层综合柱状图

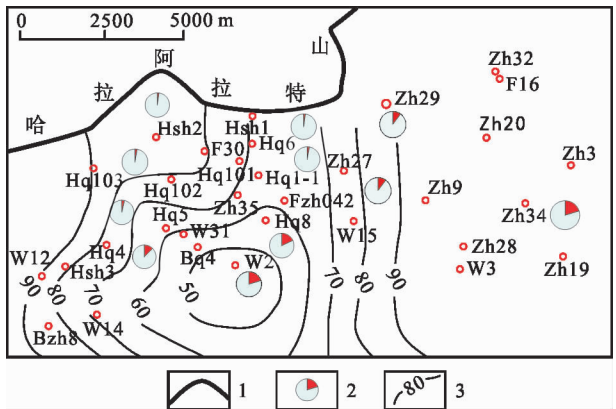
Fig. 1 The regional structural location and columnar section of layer

2 沉积特征

2.1 物源方向

研究区目的层段构造复杂,砾石丰富,物源方向存在有较大分歧,部分学者认为物源主要来自哈拉阿拉特山,而部分学者持物源来自西南部的扎伊尔山观点。针对此分歧,本次对八道湾组一段砂砾岩百分含量及厚度的平面分布规律进行了研究,并结合重矿物分析实验(贾浪波等,2019;何苗等,2019;徐杰等,2019)及地层倾角测井(张会娜,2016)对物缘方向进行了判定。

距离物源越远,砂砾岩含量越少,稳定重矿物 ZTR(锆石+电气石+金红石)含量则越高。在此沉积理论指导下,研究发现目的层段自北西向南东方向砂砾岩百分含量逐渐降低,ZTR 指数明显呈增大趋势,表明物源主要来自西北方向的哈拉阿拉特山(图 2)。通过测井资料对目的层段矢量点方位进行统计计算,发现矢量方位频率图中矢量点方位均指向南东方向,进一步验证了研究区目的层段物源主要来自西北的哈拉阿拉特山。



1. 山脉;2. 饼状图,红色代表 ZTR 含量;3. 砂砾岩百分含量等值线

图 2 研究区八道湾组一段砂砾岩百分含量及 ZTR 指数分布图

Fig. 2 Percentage content of glutenite and ZTR index distribution in the first member of Badaowan formation in the study area

2.2 沉积相

在岩心精细观察及实验分析的基础之上,本次

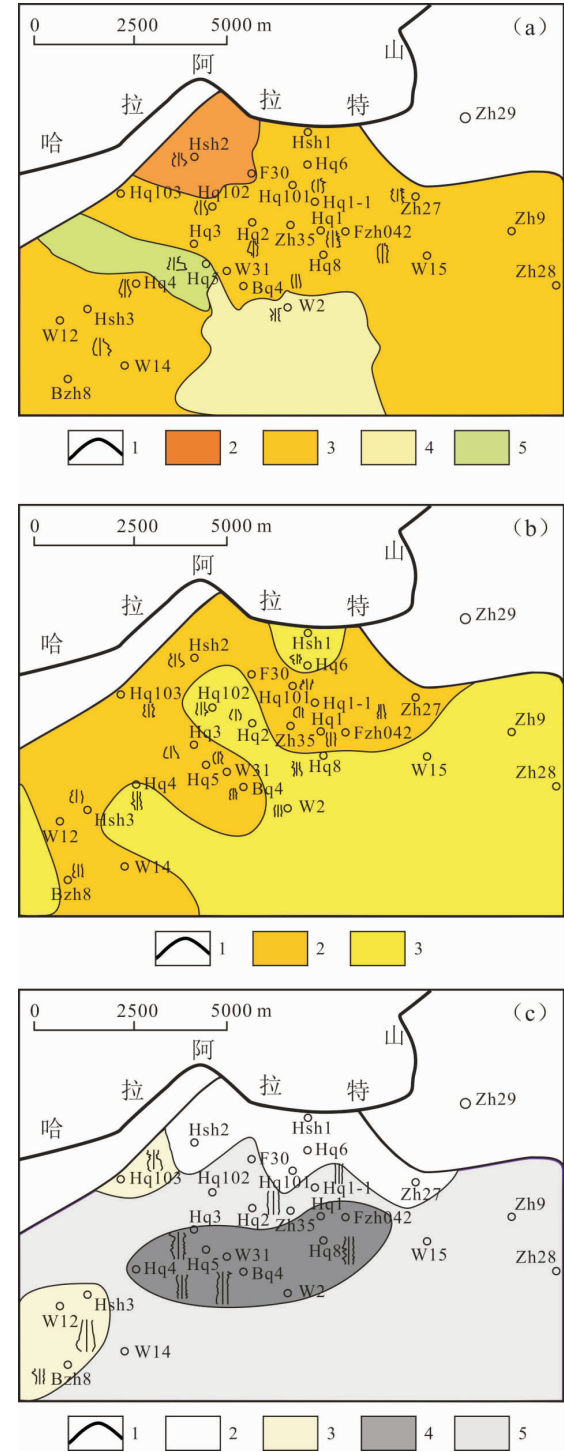
结合测井相及地震属性等对目的层段沉积相展布进行了明确。目的层段泥岩颜色以灰色为主,含有碳屑,砂砾岩发布广泛,部分砂砾岩呈红褐色,表明沉积体处于浅水弱氧化环境;岩性主要为砂砾岩及细砂岩、粉砂岩、泥岩;粒度概率曲线呈现典型的二段跳跃式,C-M 图主要发育 PQ 段,均表明了目的层段较强能量的牵引流特征。

结合测井曲线响应特征及地震属性特征能够有效地反映目的层段的沉积环境及沉积相类型(魏笑笑等,2018;王建新,2018)。研究区砾岩段自然电位曲线呈厚状箱型及箱型-钟型形态,自然伽马齿化较重,电阻率高值,微电极呈高峰状,砂岩段曲线幅度相对砾岩段普遍较低,以钟型为主,具有一定的齿化。从地震数据体中提取能够反映储层特征的平均波阻抗、均方根振幅、平均能量等地震属性,在数学理论下对地震属性进行优选,得出地震相,结合岩心、测井等资料,认为目的层段 1 砂组北部主要为砾岩沉积,砂砾岩主要分布在区内中部及南部;2 砂组主要为砂砾岩及细砂岩沉积。在前人研究的基础之上,将沙湾组一段定相为冲积扇,主要发育辫状河道砾岩相、辫状河道砂砾岩相、辫状河道细砂岩相及河道间泥岩相。

八道湾组一段 1 砂组沉积期间,由于下部地壳隆升,导致地形起伏较大,水退严重。在此期间物源充足,扇体分布较广,辫状河道自北西向南东方向延展,全区基本发育砾岩相及砂砾岩相,研究区北部及西部地区以砾岩沉积为主,呈现出扇状或鸟足状,细砂岩相不发育(图 3a)。

2 砂组沉积期间地形坡度整体减缓,由于物源供应受限而导致扇体分布范围明显缩小,岩石相由 1 砂组沉积时期的砾岩相及砂砾岩相向细砂岩相转变,砂砾岩相分布范围由连片状分布向条状分布,且分布范围明显缩减(图 3b)。

3 砂组沉积期间物源供应极度萎缩,扇体仅在哈山的局部范围出现,规模进一步缩小,岩石相由辫状河道细砂岩相开始向连片的泥岩相演化,部分井区夹多套煤层沉积。3 砂组地层以泥岩及多套煤层为主,岩性致密,可作为下部 1、2 砂组的盖层(图 3c)。



a. 1 砂组沉积相图: 1. 山脉; 2. 扇根; 3. 扇中; 4. 扇缘; 5. 扇间洼地; b. 2 砂组沉积相图: 1. 山脉; 2. 扇中辫状河砂砾岩相; 3. 扇中辫状河细砂岩相; c. 3 砂组沉积相图: 1. 山脉; 2. 剥蚀区; 3. 扇缘薄层粉砂岩; 4. 泥夹煤; 5. 泥岩

图 3 研究区八道湾组一段沉积相图

Fig. 3 Sedimentary facies of the first member of Badaowan formation in the study area

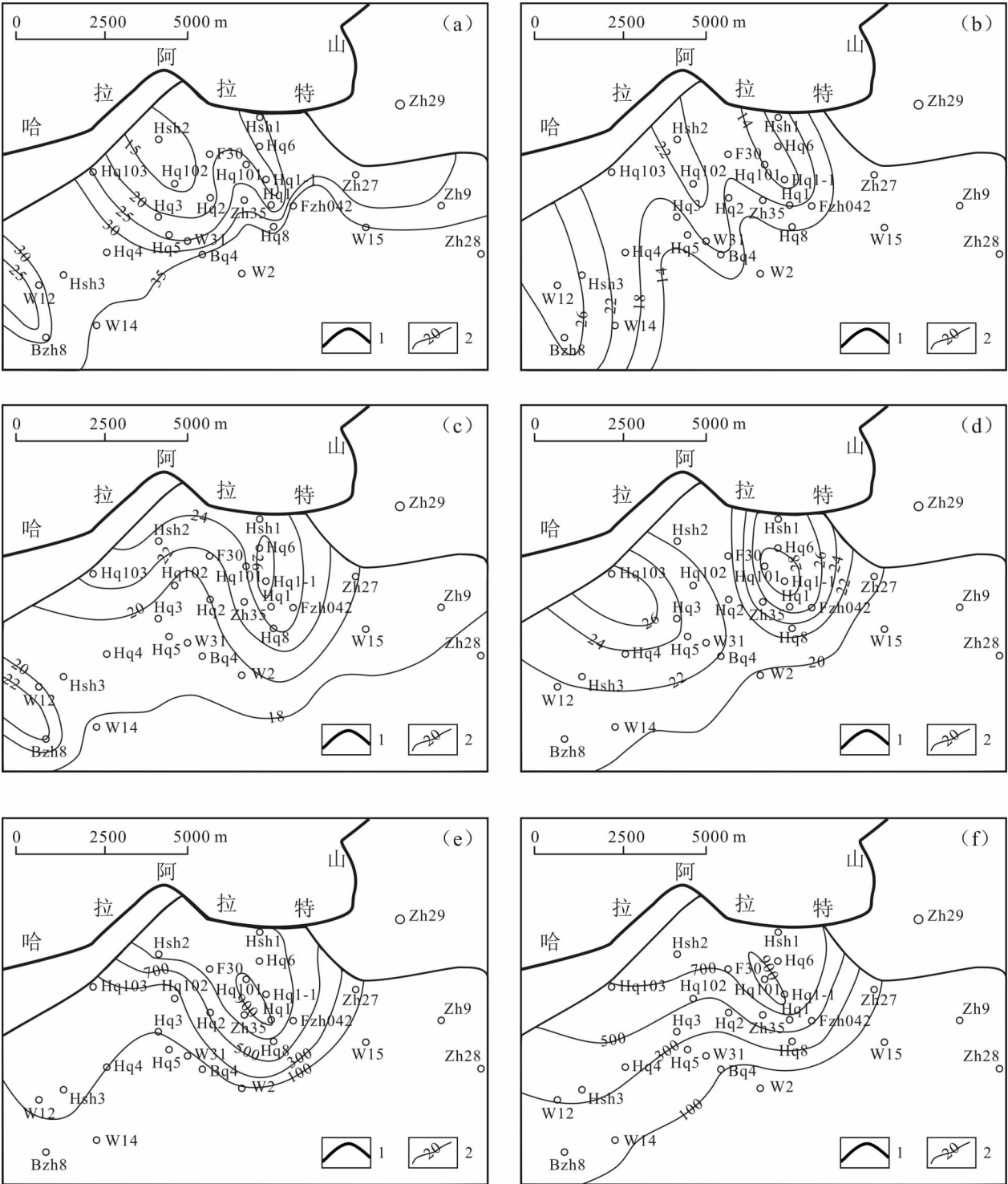
3 储层特征

3.1 物性特征

八道湾组一段 1 砂组储层砂体在平面上主要呈宽条带状,受地势影响,砂砾岩厚度自北西向南东向具增厚趋势,垂向上岩性呈现出底砾岩—含砾砂岩—粉砂岩、泥岩的正旋回特征。物性中等,孔隙度高峰区间在 17%~27%,渗透率高峰区间在 $20 \times 10^{-3} \sim 320 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表明该区 1 砂组属中孔、中渗储层(图 4a、图 4b、图 4c)。2 砂组储层砂体平面展布继承了 1 砂组,但砂砾岩厚度自北西向南东向开始呈现出减薄趋势(与在 1 砂组沉积的基础之上地势相对平缓有关),孔渗相对 1 砂组偏好,孔隙度峰值达 26%,渗透率峰值在 $80 \times 10^{-3} \sim 640 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中高孔、中高渗储层(图 4d、图 4e、图 4f)。3 砂组砂体不甚发育,偶钻中薄层含泥粉砂岩及灰色砂质泥岩,以泥岩及多套煤层发育为主,储层不发育,不作为本次研究重点。八道湾组一段 3 个砂组自下而上总体表现为正旋回叠加。

3.2 微观特征

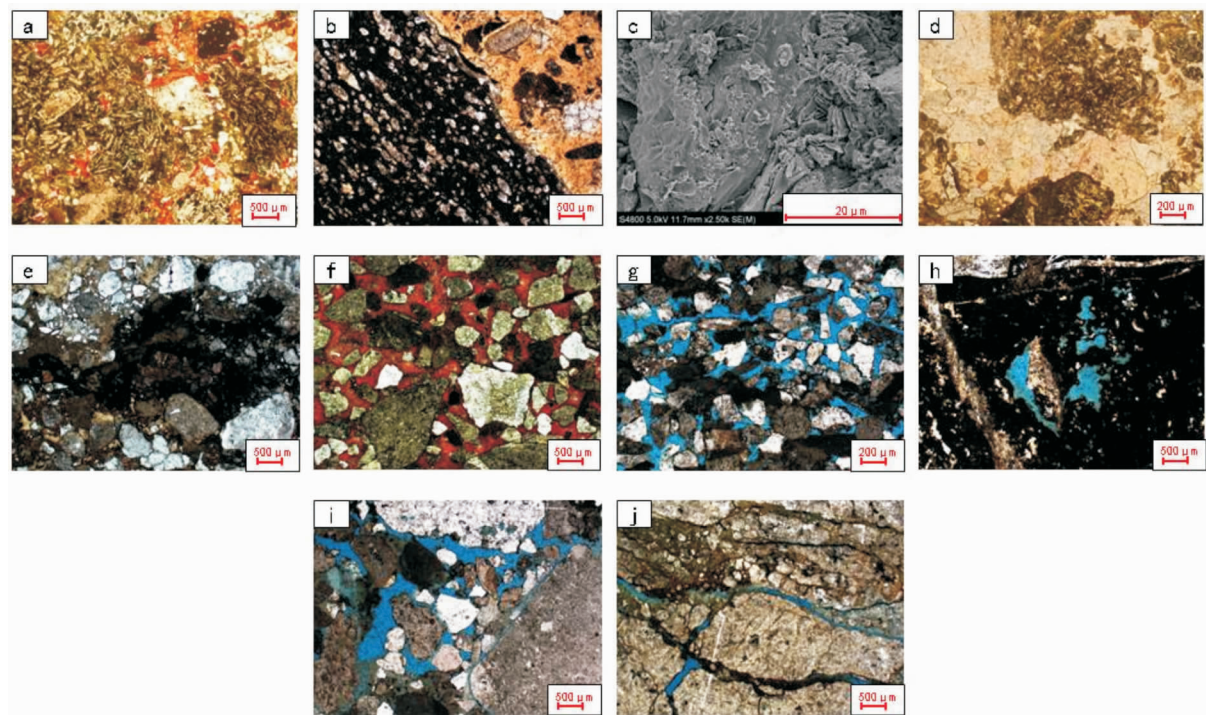
研究区距物源近,搬运距离短,镜下观察目的层段,发现岩屑含量整体偏高,可达 50%。石英、长石含量相对较低,岩石类型以岩屑砂岩为主,岩屑常见火成岩及浅变质岩,沉积岩岩屑甚少。1 砂组砾屑含量最高,局部可达 70%,砾屑成分主要为喷出岩及花岗片麻岩,颗粒分选及磨圆程度整体较差,颗粒间以点接触为主,粒内填隙物含量较高,多为黏土矿物,局部井区见沥青质胶结,压实程度低,储集空间以原生粒间孔为主。2 砂组储层粒度整体较 1 砂组细,岩屑仍以喷出岩及花岗片麻岩为主,颗粒分选及磨圆偏差,颗粒间以点接触及线接触为主,常见基底-孔隙式胶结,胶结物多为高岭石,部分见方解石钙质胶结及沥青质胶结。储集空间以原生粒间孔为主,偶见长石溶孔、砾石周边缝及压实作用产生的微裂缝,孔喉特征复杂多变,孔隙结构整体表现为中孔中喉。成岩作用主要为浅压实作用及泥质胶结作用,偶见长石颗粒、岩屑及碳酸盐胶结物溶蚀,但规模较小,不足以改善储层物性。3 砂组以泥岩及煤层沉积为主,储层不发育,不作为本次储层研究重点(图 5)。



a. 1 砂组砂厚等值线;b. 2 砂组砂厚等值线;c. 1 砂组孔隙度等值线;d. 2 砂组孔隙度等值线;
e. 1 砂组渗透率等值线;
f. 2 砂组渗透率等值线;
1. 山脉;2. 等值线

图 4 研究区八道湾组一段 1~2 砂组物性平面分布图

Fig. 4 Physical properties distribution of 1-2 sand formation of Badaowan formation in the study area



a. 喷出岩岩屑,Hsh1井,169.9 m;b. 花岗片麻岩岩屑,Hq6井,119.31 m;c. 高岭石胶结,石英表面部分溶蚀,Hq4井,553.6 m,扫描电镜;d. 方解石胶结,基底式胶结,Hsh1井,483.35 m;e. 颗粒分选差,沥青质胶结,Hq5井,550.24 m;f. 颗粒分选、磨圆差,基底-孔隙式胶结,Hq5井,581.75 m;g. 原生孔隙发育,偶见部分颗粒溶蚀,中孔中喉,Hq1井,442.68 m;h. 溶蚀孔隙,无效孔隙,Hq4井,558.37 m;i. 颗粒分选差,砾石周缘缝发育,Hq5井,578.25 m;j. 压实作用产生微裂隙,Hq4井,557.2 m

图5 研究区八道湾组典型微观特征图

Fig. 5 Typical microscopic characteristics of Badaowan formation in the study area

4 储层综合定量评价

影响储层储油性能的因素多而复杂,岩性、电性、物性、孔隙结构及含油饱和度等均对储油性能起着不用程度的影响。对这些庞大而复杂的参数进行合理分类评价往往具有一定的困难,且精度偏低,而储层综合评价可将多个参数集合起来并赋予权系数,得到最终各参数在不同权重下对储层参数综合计算的数值,即储层综合评价指数 REI ,通过 REI 的大小可直观表示储层的整体储油性能(郗鹏, 2017;万晓伟,2010)。

各储层参数的权系数作为影响储层综合评价指数的关键,前人常根据专家经验对各参数赋予相应的权重,但由于不同区块储层的非均质性差异较大,最终精度无法得到保障。近年来,部分学者尝试用熵权法、层次分析法、主成分分析法等数学方法对储层参数的权系数加以确认,成效显著,但在一定程度

上忽视了储层各参数间的约束关系,但灰色系统理论分析方法在一定程度上弥补了这一缺陷。研究区八道湾组一段储层砾石含量极高,储层特征复杂多变,岩相、砂厚、泥质含量、孔喉等参数之间相互制约,故可找出各参数之间的关联程度,然后匹配、拟合获取各参数对储层的关联度,获得各参数的权系数,方法如下。

4.1 评价参数的选取

根据实际资料,结合本区的储层特性,优选出参与储层综合评价运算的特征参数。

(1)岩性参数。研究区岩性复杂,颗粒大小不一,各岩相下的储油性存在明显差异性,故选取粒度中值(φ_{50})。

(2)储层厚度。储层厚度不仅在一定程度上能够反映沉积特征,还能够指示储层的含油性,故选取砂岩厚度(H)和有效厚度(H_e)。

(3)物性特征。直接影响储油性能的孔隙度(Φ)和渗透率(K)。

(4)填隙物特征。研究区填隙物以黏土居多,直接影响储油性,故选取泥质含量(V_{sh})。

(5)储层非均质特征。反映微观非均质性的渗透率变异系数(V_k)。

(6)孔喉特征。反映储层平均孔喉半径的吼道半径中值(r_{50})。

(7)含油性。目前含油饱和度(S_o)。

4.2 权系数的确定

采用灰色关联分析来明确各储层参数之间的相关性,从而掌握各参数对储层综合评价的影响。

(1)首先确定参数数据列(X_0')。由参与评价的各储层参数组合而成,见公式(1)。

$$X_0' = (x_0'(1), x_0'(2), \cdots, x_0'(m)) = (\varphi_{50}, H, H_e, \varphi, K, V_{sh}, V_k, r_{50}, S_o) \tag{1}$$

式中: m ——参与评价指标参数个数。

(2)评价参数无量纲化处理。由于参数数据量纲不同,直接应用会影响最终结果。因此,对各数据进行归一化处理,本次应用均值化法对数据序列进行处理见公式(2),得到无量纲化参数矩阵公式(3)。

$$x_i(k) = \frac{x_i'(k)}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i'(k)} \tag{2}$$

$$(X_0, X_1, \cdots, X_n) = \begin{bmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \cdots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_0(m) & x_1(m) & \cdots & x_n(m) \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中: $i=0,1,2,\cdots,n;k=1,2,\cdots,m;n$ ——评价对象个数; m ——参与评价指标参数个数。

(3)计算绝对差值 Δ 。在归一化的基础之上计算每个参数指标序列与参考序列对应的绝对差值 Δ ,见公式(4)。

$$\Delta = |x_0(k) - x_i(k)| \tag{4}$$

式中: $i=0,1,2,\cdots,n;k=1,2,\cdots,m;n$ ——评价对象个数; m ——参与评价指标参数个数。

(4)确定 Δ 的最大值、最小值及关联系数。

$$\text{最大值 } \Delta_{\max} = \max_{i=1}^n \max_{k=1}^m |x_0(k) - x_i(k)| \tag{5}$$

$$\text{最小值 } \Delta_{\min} = \min_{i=1}^n \min_{k=1}^m |x_0(k) - x_i(k)| \tag{6}$$

式中: n ——评价对象个数; m ——参与评价指标参数个数。

在明确绝度差值最大值和最小值的基础之上计算每个参数序列与参考序列的关联系数 $\zeta_i(k)$ 。

$$\zeta_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta + \rho \Delta_{\max}} \quad (0 < \rho < 1) \tag{7}$$

式中: ρ ——分辨系数,取 0.5。

(5)确定关联度 r_i 和权系数 α_i 。

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k) \tag{8}$$

$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \tag{9}$$

式中: $i=0,1,2,\cdots,n;k=1,2,\cdots,m;n$ ——评价对象个数; m ——参与评价指标参数个数。

(6)计算储层综合评价指数 REI 。

$$REI = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \tag{10}$$

式中: n ——评价对象个数。

4.3 评价结果

在测井及实验分析数据基础之上,将选取的 9 个参数参与八道湾组一段储层评价运算,得到各储层的 REI 数值(表 1),部分井八道湾组一段数据如下。

根据各井 REI 数值分布,将研究区储层划分为 4 个等级,最有利储层 $I > 0.8$,较有利储层 $0.6 < II$

表 1 部分井八道湾组一段储层 REI 评价数据表
Tab. 1 REI evaluation data of some wells in the first member of Badaowan Formation

井名	REI	储层类型	井名	REI	储层类型
Hq4	0.32	Ⅳ	F30	0.75	Ⅱ
Bzh8	0.36		Zh35	0.66	
Hq8	0.5	Ⅲ	Hq1-1	0.92	Ⅰ
Hq102	0.56		Hq101	0.86	

<0.8 , 一般储层 $0.4 < \text{III} < 0.6$, 较差储层 $\text{IV} < 0.4$ 。结果表明, 区内有利储层 (I + II) 主要分布在中部的 Hq2、Hq1、Ha101 及 F30 井区, 沉积岩相主要为砂砾岩及细砂岩, 与砾岩、粉砂岩发育区相比具有优势储油性, III 类储层与扇中亚相分布具有较好的吻合性, 平面呈北西—南东的宽带状, II 及 III 类储层分布较广, 是下步勘探开发的重点目标 (图 6)。

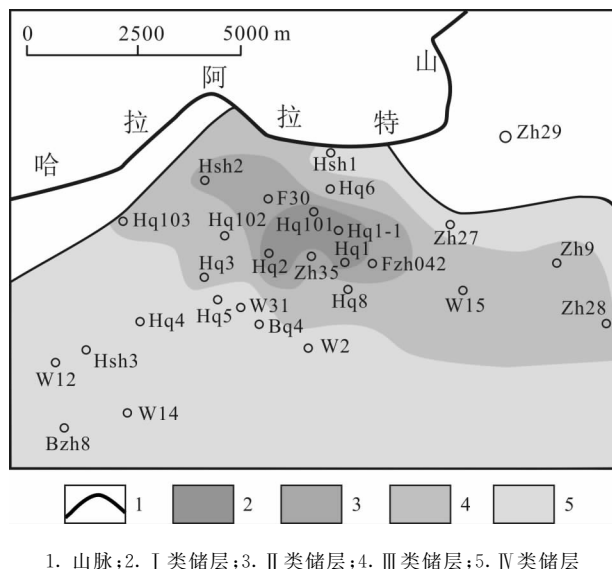


图 6 研究区八道湾组一段有利区带预测分布图

Fig. 6 Predictive distribution of the favorable zone of the first member of badaowan formation in the study area

5 结论

(1) 研究区侏罗系八道湾组一段物源主要来自西北方向的哈拉阿拉特山, 区内发育辫状河道砾岩相、辫状河道砂砾岩相、辫状河道细砂岩相及河道间泥岩相。

(2) 八道湾组一段储层特征复杂, 砾石及泥质含量高, 孔喉发育中等, 储集空间以原生粒间孔为主, 属中孔中渗储集层。

(3) 采用灰色系统理论分析方法对储层进行综合评价, 考虑各储层参数间的相关性对储层总体储油性能的影响, 提高了储层评价精度。八道湾组一段可划分为 4 类储层, 其中 I、II 类为有利储层, 主要分布在 Hq2、Hq1 及 Hsha2 井区域, 沉积岩相主要为砂砾岩及细砂岩; II 及 III 类储层分布较广, 主要

分布在 Hq3、Hq6 及 Fzhong042 等井所含盖区域, 是下步勘探开发的重点目标。

参考文献 (References):

- 王圣柱, 吴倩倩, 程世伟, 等. 准噶尔盆地北缘哈山构造带油气输导系统与运聚规律[J]. 沉积学报, 2017, 35(2): 405-412.
- WANG Shengzhu, WU Qianqian, CHENG Shiwei, et al. Hydrocarbon Transmission System and Accumulation in Hala'alat Mountain Structural Belt in the Northern Margin of Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(2): 405-412.
- 张奎华, 林会喜, 张关龙, 等. 哈山构造带火山岩储层发育特征及控制因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(2): 16-22.
- ZHANG Kuihua, LIN Huixi, ZHANG Guanlong, et al. Characteristics and controlling factors of volcanic reservoirs of Hala'alate mountains tectonic belt[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(2): 16-22.
- 王圣柱, 林会喜, 张奎华, 等. 准噶尔盆地北缘哈山构造带油气输导系统研究[J]. 特种油气藏, 2015, 22(6): 30-34.
- WANG Shengzhu, LIN Huixi, ZHANG Kuihua, et al. Study on Hydrocarbon Transport System in Kazan Tectonic Zone at North Margin of Junggar Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(6): 30-34.
- 胡青, 刘洛夫, 万青青, 等. 准噶尔盆地乌尔禾—风南地区百口泉组储层有利成岩相[J]. 东北石油大学学报, 2017, 41(5): 81-89.
- HU Qing, LIU Luofu, WAN Qingqing, et al. Favorable diagenetic facies of Baikouquan formation in Wuerhe-Fengnan area, Junggar basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2017, 41(5): 81-89.
- 董国强. 准噶尔盆地春晖油田侏罗系八道湾组物源分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 60-64.
- DONG Chenqiang. Provenance analysis of the Jurassic badaowan Formation in the Chunhui Oil Field, Junggar Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2014, 34(2): 60-64.
- 陈平. 准北缘春晖油田三叠系层序控制下圈闭特征研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(4): 201-207.
- CHEN Ping. Study on the Characteristics of Trap Develop-

- ment Controlled by the Sequence of Triassic in Chunhui Oilfield, Northern Margin of Junggar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(4): 201-207.
- 张广权,胡向阳,陈舒薇. 致密低渗砂岩储层定量评价方法[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(12): 2147-2153.
- ZHANG Guangquan, HU Xiangyang, CHEN Shuwei. Quantitative evaluation method of tight sandstone reservoir with low permeability[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(12): 2147-2153.
- 朱谨瑾,符超峰,杨海龙,等. 鄂尔多斯盆地甘谷驿油区延长组长6储层综合评价[J]. 西北地质, 2019, 52(1): 166-175.
- ZHU Jinjin, FU Chaofeng, YANG Hailong, et al. Comprehensive Evaluation of Chang 6 Reservoir from Yanchang Formation in Ganguyi Oil Area, Ordos Basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(1): 166-175.
- 何琰. 基于模糊综合评判与层次分析的储层定量评价——以包界地区须家河组为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(1): 23-25.
- HE Yan. A quantitative reservoir evaluation method based on fuzzy comprehensive appraisal and analytical hierarchy process-case of Xujiache formation, Baojia area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(1): 23-25.
- 王建东,刘吉余,于润涛,等. 层次分析法在储层评价中的应用[J]. 大庆石油学院学报, 2003, 27(3): 12-14.
- WANG Jiandong, LIU Jiyu, YU Runtao, et al. The application of analytic hierarchy process to reservoir evaluation[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2003, 27(3): 12-14.
- 孙耀庭,刘雅利,巩建强,等. 济阳拗陷沾化凹陷沙四上亚段灰质滩坝储层评价[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(5): 62-69.
- SUN Yaoting, LIU Yali, GONG Jianqiang, et al. Evaluation on limy beach-bar reservoirs in the upper part of the fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua sag, Jiyang depression[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(5): 62-69.
- 潘荣,朱筱敏,张剑锋,等. 基于主成分分析的储层质量综合评价模型——以克拉苏构造带巴什基奇克组为例[J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 376-380.
- PAN Rong, ZHU Xiaomin, ZHANG Jianfeng, et al. A model for comprehensive evaluation of reservoir quality based on principal component analysis: A case study of Bashijiqike Formation in Kelasu tectonic zone[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 376-380.
- 朱兆群,林承焰,张苏杰,等. 改进的模糊-灰色综合评判方法在储层定量评价中的应用——以苏里格气田苏X井区盒8下亚段低渗透气藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(1): 197-208.
- ZHU Zhaoqun, LIU Chenyan, ZHANG Sufang, et al. Application of improved fuzzy-grey comprehensive evaluation method to quantitative reservoir evaluation: A case study of the low-permeability gas reservoirs of the lower part of 8th member of the Shihezi Formation in Su X block of Sulige Gasfield[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 197-208.
- 李娜,李新胜,许登才,等. 灰色系统理论在国外 OLT 油田储层精细评价中的应用[J]. 西北地质, 2007, 40(4): 75-80.
- LI Na, LI Xinsheng, XU Dengcai, et al. Application of grey system theory in reservoir fine assessment in the OLT Oilfield[J]. Northwestern Geology, 2007, 40(4): 75-80.
- 晁会霞,姚卫华,杨兴科,等. 储层综合评价方法在白豹油田中的应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(6): 1-7.
- CHAO Huixia, YAO Weihua, YANG Xingke, et al. Application of a comprehensive evaluation method of reservoir in Baibao Oilfield[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2010, 25(6): 1-7.
- 程启贵,郭少斌,王海红,等. 鄂尔多斯盆地中西部长6油层组储层综合评价[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5): 415-419.
- CHENG Qigui, GUO Shaobing, WANG Haihong, et al. Comprehensive reservoir evaluation of Chang-6 oil-bearing Layers in midwest ordos basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 415-419.
- 刘吉余,彭志春,郭晓博. 灰色关联分析法在储层评价中的应用——以大庆萨尔图油田北二区为例[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(2): 13-15.
- LIU Jiyu, PENG Zhichun, GUO Xiaobo. Application of grey relation analysis to reservoir evaluation-taking Bei 2 area, Saertu oilfield, Daqing as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(2):

13-15.

林师瑶. 准噶尔盆地哈山地区侏罗系八道湾组储集层成岩演化[J]. 河南科学, 2014, 32(10): 2079-2083.

LIN Shiyao. The Diagenetic Evolution of Jurassic Badaowan Formation Reservoir in Ha-Shan Area, Junggar Basin [J]. Henan Science, 2014, 32(10): 2079-2083.

单衍胜, 毕彩芹, 张家强, 等. 准噶尔盆地南缘探获中侏罗统低煤阶煤层气高产工业气流[J]. 中国地质, 2018, 45(5): 1078-1079.

CHAN Yansheng, BI Caiqin, ZHANG Jiaqiang, et al. Productive industrial gas flow obtained in Middle Jurassic low-rank coalbed methane seam in southern Junggar Basin[J]. Geology in China, 2018, 45(5): 1078-1079.

贾浪波, 钟大康, 孙海涛, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组沉积物物缘探讨及其构造意义[J]. 沉积学报, 2019, 13(3): 1038-1050.

JIA Langbo, ZHONG Dakang, SUN Haitao, et al. Sediment Provenance Analysis and Tectonic Implication of the Benxi Formation, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 13(3): 1038-1050.

何苗, 姜勇, 张恒, 等. 准噶尔盆地西北缘三叠系重矿物特征及其物源指示意义[J]. 地质论评, 2019, 65(2): 464-476.

HE Miao, JIANG Yong, ZHANG Heng, et al. Heavy mineral characteristics and its implication for provenance of the Triassic, NW Junggar [J]. Geological Review, 2019, 65(2): 464-476.

徐杰, 姜在兴. 碎屑岩物源研究进展与展望[J]. 古地理学报, 2019, 21(3): 379-396.

XU Jie, JIANG Zaixing. Provenance analysis of clastic rocks: Current research status and prospect[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2019, 21(3): 379-396.

张会娜. 桩西地区海域沙河街组沉积体系及储层特征研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2016, 27-38.

ZHANG Huina. Study on sedimentary system and reservoir characteristics of Shahejie Formation in Zhuangxi sea area[D]. Dongying: China university of petroleum, 2016, 27-38.

魏笑笑, 刘建朝, 刘晶晶. 鄂尔多斯盆地史家畔地区长 6-1 油层沉积微相研究及其对开发的影响[J]. 西北地质, 2018, 51(4): 255-262.

WEI Xiaoxiao, LIU Jianchao, LIU Jingjing. Study on Sedimentary Microfacies and Impact on Development of Chang 61 Reservoir in Shijiapan Area, Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(4): 255-262.

王建新. 塔里木盆地志留系柯坪塔格组潮坪沉积特征分析[J]. 西北地质, 2018, 51(2): 69-74.

WANG Jianxin. Tidal Flat Sedimentary Characteristics of Silurian Gepingtage Formation in Tarim Basin [J]. Northwestern Geology, 2018, 51(2): 69-74.

郝鹏. 低渗海绿石砂岩储层综合评价[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2017, 19(5): 6-10.

XI Peng. Comprehensive Evaluation of Low Permeability Glauconite Sandstone Reservoir[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2017, 19(5): 6-10.

万晓伟, 毕建霞, 刘志远, 等. 灰色关联网格化综合评价普光气田储层[J]. 断块油气田, 2010, 17(4): 405-408.

WAN Xiaowei, BI Jianxia, LIU Zhiyuan, et al. Intergrated evaluation of reservoir for Puguang Gas Field with gray correlation gridding[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 14(4): 405-408.

单衍胜, 毕彩芹, 张家强, 等. 准噶尔盆地南缘探获中侏罗统低煤阶煤层气高产工业气流[J]. 中国地质, 2018, 45(5): 1078-1079.

SHAN Yansheng, BI Caiqin, ZHANG Jiaqiang, et al. Productive industrial gas flow obtained in Middle Jurassic low-rank coalbed methane seam in southern Junggar Basin[J]. Geology in China, 2018, 45(5): 1078-1079 (in Chinese with English abstract).