

致密砂岩气田盖层封闭能力综合评价 ——以四川盆地广安气田为例

史集建^{1,2}, 李丽丽³, 吕延防^{1,2}, 杨军⁴, 李寿英⁵

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 东北石油大学 黑龙江省油气藏形成机理与资源评价重点实验室, 黑龙江 大庆 163318; 3. 中国石油 大庆油田公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712; 4. 中国石油 新疆油田公司 风城油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000; 5. 中国石油 华北油田分公司 第一采油厂, 河北 任丘 062552)

摘要:致密砂岩气作为一种非常规油气资源,具有良好的勘探开发前景,其成藏保存条件问题越来越受到研究人员的关注。在前人研究的基础上,筛选出与盖层封闭能力密切相关的评价参数,如盖层厚度、排替压力、气藏压力系数、断裂对盖层的破坏程度及垂向封堵性,并结合盖层封闭能力有效性概念,建立了盖层封气能力综合评价方法。对我国致密砂岩大气田储量丰度及盖层属性数据进行了统计,厘定了高储量丰度大气田形成所需的各盖层评价参数下限作为其各自均一化标准值。以四川盆地广安气田须家河组五段区域盖层为例,研究发现盖层厚度为30~200 m,排替压力为5.5~9.5 MPa,气藏压力系数为1.05~1.50,断裂活动性较强,断层垂向封闭能力较弱,但盖层封气有效性好;最后,利用综合评价公式计算后得到须五段盖层能够封盖特低储量丰度的气田,盖层封闭能力综合评价指标为0.04~0.24,在工区内总体表现为西高东低的展布特征。该方法预测保存有利区与目前须四段气藏的勘探现状较吻合。

关键词:封闭能力;盖层;致密砂岩气田;须家河组;广安气田;四川盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Comprehensive evaluation on the sealing capability of cap rocks in tight sandstone gasfield —a case study from Guang'an gasfield in the Sichuan Basin

Shi Jijian^{1,2}, Li Lili³, Lü Yanfang^{1,2}, Yang Jun⁴, Li Shouying⁵

(1. College of Earth Science, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Key Laboratory of Heilongjiang Oil and Gas Reservoir Forming Mechanism and Resource Evaluation, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China; 4. Fengcheng Oilfield, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China; 5. No. 1 Production Plant, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: In this paper, we chose several parameters that are closely related with sealing capacity of cap rock, such as cap rock thickness, displacement pressure, pressure coefficient, damage of fault to cap rock and vertical sealing ability. In combination with the concept of sealing effectiveness of cap rock, we proposed a comprehensive evaluation method of cap rock sealing capability. Based on statistics of reserve abundance and cap rock attributes of large tight sandstone gasfields in China, we took the lower limit of each cap rock evaluation parameter necessary for the formation of large gasfield with high reserve abundance as its homogenization standard value. Case study of the regional cap rock of the 5th Member of Xujiahe Formation in Guang'an gas field shows that the cap rock thickness is 30–200 m, displacement pressure is 5.5–9.5 MPa, the pressure coefficient is 1.05–1.50, the fault activity is strong, vertical sealing capacity of the fault is poor, and the sealing effectiveness of cap rock is good. Calculation with the comprehensive evaluation formula obtains a composite sealing capacity evaluation index in the range of 0.04–0.24, indicating that the cap rock of the 5th Member of Xujiahe Formation is capable of sealing gas in reservoirs with ultra-low reserve abundance. The index is high in the west but low in the east as a whole. The play fairways predicted by this method basically coincide with the present exploration results of the 5th Member in the Xujiahe Formation.

收稿日期:2012-09-06; 修订日期:2013-05-14。

第一作者简介:史集建(1982—),男,博士、讲师,油气藏形成与保存。E-mail:shijijian@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007-002)。

Key words: sealing ability, cap rock, tight sandstone gasfield, Xujiahe Formation, Guang'an gasfield, Sichuan Basin

随着四川盆地和鄂尔多斯等盆地内一系列致密砂岩大气田的发现,该类型气田的成藏特征成为国内外学者研究的热点。盖层作为致密砂岩气田形成不可或缺的条件之一,起到了非常重要的作用^[1]。关于盖层封闭条件的认识,前人曾做过大量研究和探讨^[2-5],但人们越来越认识到,盖层能否对致密砂岩气藏形成与富集起到封盖作用,除了取决于其自身发育特征(盖层空间分布连续性和封闭能力)外,还要受到气藏内部能量(气藏内剩余压力大小)的影响;此外盖层封闭能力的有效性也会产生一定的影响,即盖层只有空间分布连续,封闭能力大于气藏内部的剩余压力,且封闭能力形成时期早于或与烃源岩大量排气期同期时,才能对天然气的大规模聚集形成有效封闭;否则,天然气无法大规模聚集成藏。由此看出,盖层封闭能力的影响是多种地质因素综合作用的结果。前人^[6-9]已建立了一套盖层封闭能力的综合评价方法,而且在我国各类型气田盖层评价中取得了非常好的效果。这种方法更多考虑了盖层空间分布连续性(厚度大小)、封闭能力(排替压力)大小与气藏内剩余压力(压力系数)大小,却没有考虑对致密砂岩气田的保存起到重要作用的因素——盖层封闭能力有效性的影响,这无疑使盖层封闭能力的评价结果与地下实际真值存在偏差,可能过高地估算了盖层封闭能力,给天然气勘探带来一定的风险。因此,改进这种盖层封闭能力综合定量评价方法,对于准确评价盖层封闭能力及其在天然气聚集与分布均有重要意义。

1 盖层封闭能力综合评价方法

前人研究认为,盖层封闭能力的强弱主要受到其厚度、排替压力和气藏内部剩余压力的影响,即盖层厚度越大,排替压力越大,气藏内部剩余压力越小,盖层封闭能力越强;反之盖层封闭能力越弱^[6-9]。除此之外,盖层封闭能力有效性对天然气成藏具有重要的影响。所谓盖层封闭能力有效性是指盖层封闭能力形成时期与源岩大量排气期的匹配关系,只有盖层封闭能力形成时期早于或与源岩大量排气期同期时,盖层才能封闭住源岩排出的大量天然气,封气有效性好;相反,如果盖层封闭能力形成时期晚于源岩大量排气期,盖层所能封闭住的天然气量大小要受到二者时间差大小的控制,二者之间时间差越小,盖层所能封闭住源岩排出的天然气量越大,封气有效性相对越好;反之则越差。由此看出,如果不考虑盖层封闭有效性的影响,有可能夸大了致密砂岩气藏盖层封闭效果,不利于真

实的反映地下盖层实际封闭能力。为此,笔者在盖层封闭能力综合评价时,除了考虑盖层空间分布连续性、封闭能力和气藏剩余压力影响外,还考虑盖层封闭有效性的影响。用 CSI (Cap Seal Index) 定量反映盖层封气能力, CSI 值越大,盖层封闭能力越强;反之则越弱。

$$CSI = f \frac{p_{\min} H_y}{k} \quad (1)$$

$$f = \begin{cases} 1 & (t_s \geq t_r) \\ \frac{t_s}{t_r} & (t_s < t_r) \end{cases} \quad (2)$$

式中, CSI 为盖层封气能力综合评价参数; f 为盖层封气有效性系数,可通过盖层封闭能力形成时期(t_s)与源岩大量排气期(t_r)比较确定(式2)。如果盖层封闭能力形成时期早于或与源岩大量排气期同时, f 取 1; 如果盖层封闭能力形成时期晚于源岩大量排气期, f 取盖层封闭能力形成时期与烃源岩大量排气期的比值,盖层封闭能力形成时期(t_s)可参照文献[10]中的标准和方法来确定。 $p_{\min}$ 为评价区域内盖层排替压力的最小值, MPa; H_y 为盖层有效厚度, m, 可由钻井资料和地震资料解释成果综合得到; k 为气藏压力系数, 无量纲, 可由实测储层压力除以静水柱压力得到。

需要强调的是,当气藏盖层被断层破坏时,如果天然气藏内盖层位置发育断裂,那么断层发育的规模、数量,尤其是断裂的封堵性,将是影响盖层封闭能力的决定性因素。如果断裂把盖层完全错断,保存条件受到完全破坏;如果断裂没有把盖层完全错断,那盖层的封闭能力主要取决于断层上升盘底部与断层交点处的断层岩的封闭能力。当盖层封闭能力综合评价时, $p_{\min}$ 应取盖层与断层岩之间排替压力的较小值。

断层岩封闭能力的求取主要依据文献[11],并作了少许改进。将断层岩视为正常压实的地层,确定其在考虑断层活动的基础上断面正压力作用下相当的正常地层埋深,再通过断层岩泥质含量求取公式计算其 SGR (Shale Gouge Ratio) 值,最后利用排替压力拟合公式获得断层岩排替压力,具体步骤如下。

① 岩石排替压力的获取

前人通过实验分析发现,岩石封闭能力强弱与其泥质含量和压实成岩程度具有较好的相关性,据此规律可建立岩石实测排替压力与其埋深和泥质含量乘积之间的拟合公式,对未实测岩石的排替压力进行科学的近似预测。

② 断层岩压实成岩埋深的确定

根据断层倾角和断点处的静岩压力,结合断层岩

压实成岩作用时间与断层岩围岩的压实成岩作用时间的比值,便可得到断层面的正压力,进而得到断层岩理论压实成岩埋深。

③ 断层岩中泥质含量的确定

可通过 Yieding 提出的 SGR 方法^[12]计算求得。

④ 求取断点处断裂充填物的排替压力

将断层岩理论压实成岩埋深视为断裂充填物质所承受的静岩压力,结合③中获得的断层岩泥质含量,根据①步中的关系得到所研究的断点处断裂充填物的排替压力。

为了便于同类致密砂岩气田盖层综合封闭能力之间的比较,评价时应对式(1)内排替压力、盖层有效厚度和气藏压力系数进行均一化处理,各参数的均一化标准值由我国目前主要致密砂岩气田盖层的各个封闭能力评价参数与气田储量丰度之间的关系进行界定。因此,最终通过式 1 得到的 CSI 也是一个无量纲函数,通常情况下是一个小于 1 的常数,只有气藏压力系数较小时,才会大于 1。

2 盖层封闭能力评价参数均一化标准值

在综合选取盖层封闭能力评价参数的基础上,通过对我国致密砂岩大气田的盖层数据进行了统计。依据 2008 年我国气田天然气申报地质储量,确定我国 15 个致密砂岩大中型气田(表 1)。对这 15 个大中型气田的储量丰度与其各自盖层的封闭能力评价参数进行相关性分析,通过储量丰度标准厘定致密砂岩气田盖层封闭能力评价参数均一化标准值(图 1—图 3)。

通过 15 个大中型致密砂岩气田的储量丰度与排替压力、盖层厚度和气藏压力系数之间的关系可以看出,致密砂岩气田的储量丰度均随着排替压力、盖层厚度和气藏压力系数的增大而升高,证明致密砂岩气田的储量丰度与盖层封闭能力各参数之间具有良好的相关性。以此为基础,将气藏储量丰度 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 对应的排替压力、盖层厚度和气藏压力系数值定义为各参数的均一化标准值,如表 2 所示。

表 1 我国致密砂岩大中型气田盖层封闭能力参数及分布层位统计
Table 1 Statistics of cap rock sealing capacity parameters and distribution layers of the large and middle sized tight sandstone gasfields in China

气田	所在盆地	储量丰度/ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	储层层位	盖层排替压力/MPa	气藏压力系数	盖层厚度/ m	CSI	盖层层位	盖层岩性	盖层性质
苏里格	鄂尔多斯	2.14	P_1x^8	14.4	0.97	100	0.59	P_2sh	泥岩	区域盖层
靖边	鄂尔多斯	0.70	O_1, P_1	14.0	0.94	110	0.63	O_1	碳酸盐岩与泥质岩的过渡岩性	直接盖层
								O_2, C	泥岩、铝土岩	区域盖层
大牛地	鄂尔多斯	2.81	P_1, C		0.75 ~ 1.05	60		P_2sh	泥岩	区域盖层
榆林	鄂尔多斯	1.05	P_2s^2	13.0	0.96	60	0.32	P_2s^2 上部	泥岩	直接盖层
								P_2sh	泥岩	区域盖层
子洲	鄂尔多斯	0.97	P_2s^2, P_1x^8		1.02	45		P_2s^1, P_1x^7	泥岩	直接盖层
乌审旗	鄂尔多斯	1.16	P_1x^8	10.0	0.85	105	0.49	P_2sh	泥岩	区域盖层
神木	鄂尔多斯	1.13	P_2s^2	11.0	0.84	35	0.73	C_3t, P_2s^{1-2}	泥岩	直接盖层
								P_2s^1	泥岩	区域盖层
米脂	鄂尔多斯	0.75	P_1x^{6-8}	8.0	1.09	50	0.29	P_1s	泥岩	直接盖层
合川	四川	4.55	T_3x	15.5	1.21 ~ 1.36	145	0.66	T_3x, J	黑色页岩、灰岩夹煤层或煤线	区域盖层
新场	四川	19.22	J_3p, J_3s, J_3q, T_3	18.4	1.65 ~ 2.00	300	1.00	J_3s	泥岩	区域盖层
广安	四川	2.34	T_3x	7.0	1.38	101		T_3x^5, T_3x^6	泥岩夹煤层或煤线	区域盖层
八角场	四川	5.04	J, T	16.5	1.79	255	0.97	T_3x^5	黑色页岩、炭质页岩及薄煤层	区域盖层
洛带	四川	2.00	J_3p, J_3sn, J_3s	22.4	0.94 ~ 1.22	30	0.42	J_3sn	泥岩	区域盖层
								J_3p	页岩、灰岩	局部盖层
邛西	四川	3.99	J, T		1.15	175		T_3x^3	泥岩、煤层	区域盖层
平落坝	四川	2.96	J, T	15.0	1.15	200	1.04	J_3sn	泥岩	区域盖层
								T_3x^3	泥岩	直接盖层

注:数据来源于“十一五”重大专项“大气田形成的盖层、断层控制作用与定量评价研究(2008ZX05007-003-03)”成果;盖层排替压力和有效厚度均为气藏范围内最小值。

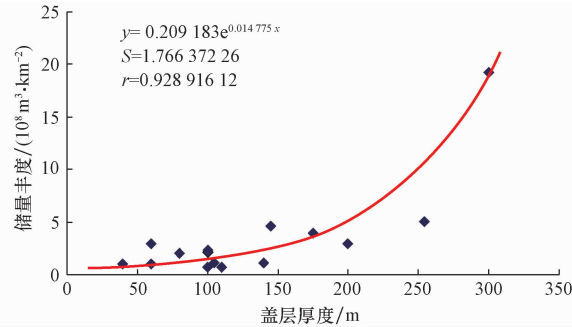


图 1 致密砂岩气田盖层厚度与储量丰度关系
Fig. 1 Relationship between cap rock thickness and reserve abundance of tight sandstone gasfields

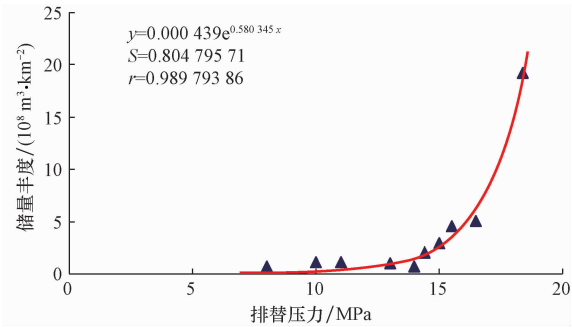


图 2 致密砂岩气田盖层排替压力与储量丰度关系
Fig. 2 Relationship between cap rock displacement pressure and reserve abundance of tight sandstone gasfields

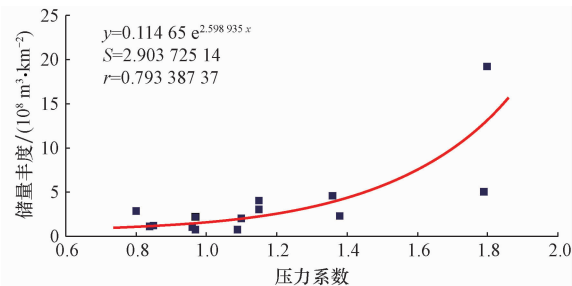


图 3 致密砂岩气田压力系数与储量丰度关系
Fig. 3 Relationship between gas pressure coefficient and reserve abundance of tight sandstone gasfields

表 2 我国致密砂岩气田盖层封闭能力评价参数均一化标准值
Table 2 Homogenization standard values of cap rock sealing ability evaluation parameters of tight sandstone gasfields in China

盖层封闭能力评价参数	排替压力/MPa	厚度/m	压力系数
数值	22.4	260	1.72

对大中型致密砂岩气田各盖层封闭能力评价参数进行均一化后,利用式(1),并结合各气田盖层封闭能力形成时期与源岩大量排气期的匹配关系,计算获得各盖层的 CSI 值(表 1),并建立其与储量丰度之间的对应关系(图 4)。可以发现,两者呈正相关性,即随

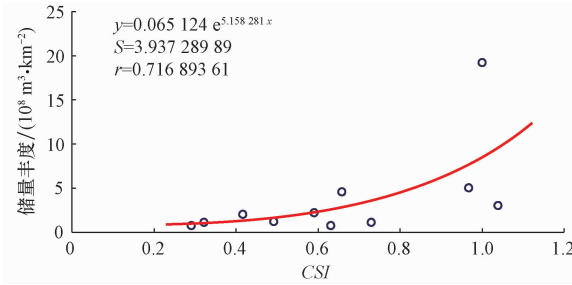


图 4 致密砂岩气田盖层 CSI 值与储量丰度关系
Fig. 4 Relationship between CSI and reserve abundance of tight sandstone gas fields

表 3 致密砂岩气田不同储量丰度等级对应 CSI 标准
Table 3 CSI standards corresponding to different reserve abundances of tight sandstone gasfields

气田储量丰度等级	储量丰度/ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	CSI	盖层等级
高	> 10	> 1.00	I 类
中	5 ~ 10	0.84 ~ 1.00	II 类
低	1 ~ 5	0.53 ~ 0.84	III 类
特低	< 1	< 0.53	IV 类

CSI 值的增大,气田储量丰度也随之升高;反之,则降低。根据两者之间的拟合关系,获得气田不同储量丰度等级对应的盖层 CSI 值及盖层评价等级(表 3)。

3 广安气田须五段区域盖层综合评价

广安地区上三叠统须家河组为一套陆相碎屑岩含煤沉积,自下而上分为 6 段,其中须一、须三、须五段以黑色页岩、泥岩为主,夹粉砂岩、砂岩、煤层或煤线,是主要的烃源岩^[13]和盖层;须二、须四、须六段以灰色中-细粒砂岩为主,夹薄层泥页岩,是主要储集层。须家河组一、须三、须五段烃源岩与二、须四、须六段储集层间互叠置呈“三明治”结构,具有广覆式分布特征,构成有利的生储盖组合^[13-19]。

广安气田的天然气主要富集在须四段和须六段砂岩内,对天然气的封闭保存起最主要作用的是气田上部的须五段和须六段顶部的泥岩盖层,本文主要对须五段泥岩盖层的综合封闭能力进行评价。

3.1 盖层封闭能力

1) 盖层宏观发育特征

须家河组沉积时期,龙门山崛起并向盆地内逆冲推覆,同时大巴山等盆地周缘山系的幕式活动,给须家河组湖盆的幕式升降提供了构造动力。广安地区在须五段沉积时期处于幕式活动的平静期,物源供给逐渐

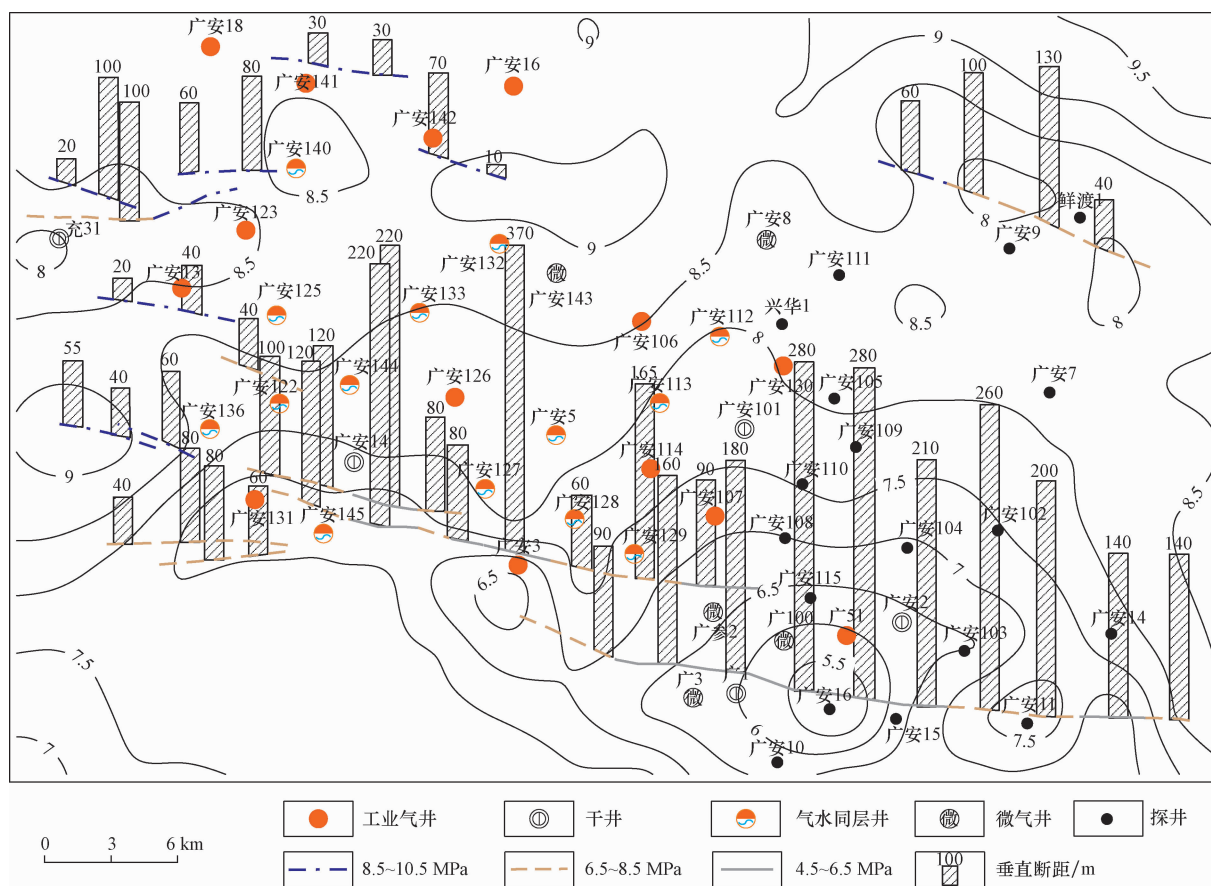


图6 广安气田须五段盖层排替压力分布、断裂发育特征及封堵性评价

Fig. 6 Cap rock displacement pressure distribution, fault characteristics and sealing capacity evaluation of the 5th Member of Xujiahe Formation in Guang'an gasfield

完全错断,断裂带内部断层岩排替压力也较低,仅为4.5~6.5 MPa,明显低于附近盖层的排替压力,不利于气田的保存(图6)。

5) 盖层封闭能力有效性

经前人研究得到^[13],广安地区由于在中晚侏罗世(175~140 Ma)快速沉降,须家河组烃源岩在晚侏罗世(156.6~140 Ma)短期内大量生气。经过研究得到,须五段盖层自沉积后快速埋深,封闭能力迅速提高,在广安地区的大部分区域内于三叠纪沉积后期时微观封闭能力达到1 MPa,形成封闭能力。因此,广安地区须五段盖层的封气有效性系数大部分为1。

3.2 盖层封闭能力综合评价

综合以上分析,将广安地区网格化后计算每个网格内的CSI,利用盖层综合评价公式最终得到须五段泥岩盖层综合封闭能力分布特征(图7)。根据等级划分标准,须五段盖层总体上为Ⅳ类盖层,表明须四段储层富集的气藏标准为特低储量丰度,符合广安气田平缓斜坡区气藏储量丰度为 $0.5 \times 10^8 \sim 0.8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的实际情况。须五段盖层CSI值为0.04~0.24,总体表现为西高东低,西部地区也存在因断裂的破坏作用造

成盖层CSI值较低的局部区域。目前的须四段气藏的分布区域主要处于工区西北部盖层CSI值大于0.16的范围内,与预测的须四段盖层封盖有利区域较吻合,证明了盖层封闭能力综合评价方法的正确性。另外,研究区西南部盖层的封闭能力也较高,但受到断裂破坏被分割成局部的几块,使得天然气大面积连片成藏的条件有限,但因小范围区域内具有天然气成藏的良好封盖条件,也存在发现小规模气藏的可能性。

4 结论

1) 盖层封气能力除了受到自身发育特征(盖层排替压力和厚度)及气藏内部能力(压力系数)的影响外,还在一定程度上要受到盖层封气有效性的影响,故盖层封气能力综合评价应考虑盖层封气有效性的影响。

2) 通过统计我国致密砂岩大气田的盖层封闭能力评价参数数据,建立其与气田储量之间的关系,确定储量丰度 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 对应的盖层厚度、排替压力和气田压力系数均一化标准值分别为262 m, 17.3 MPa和1.72。

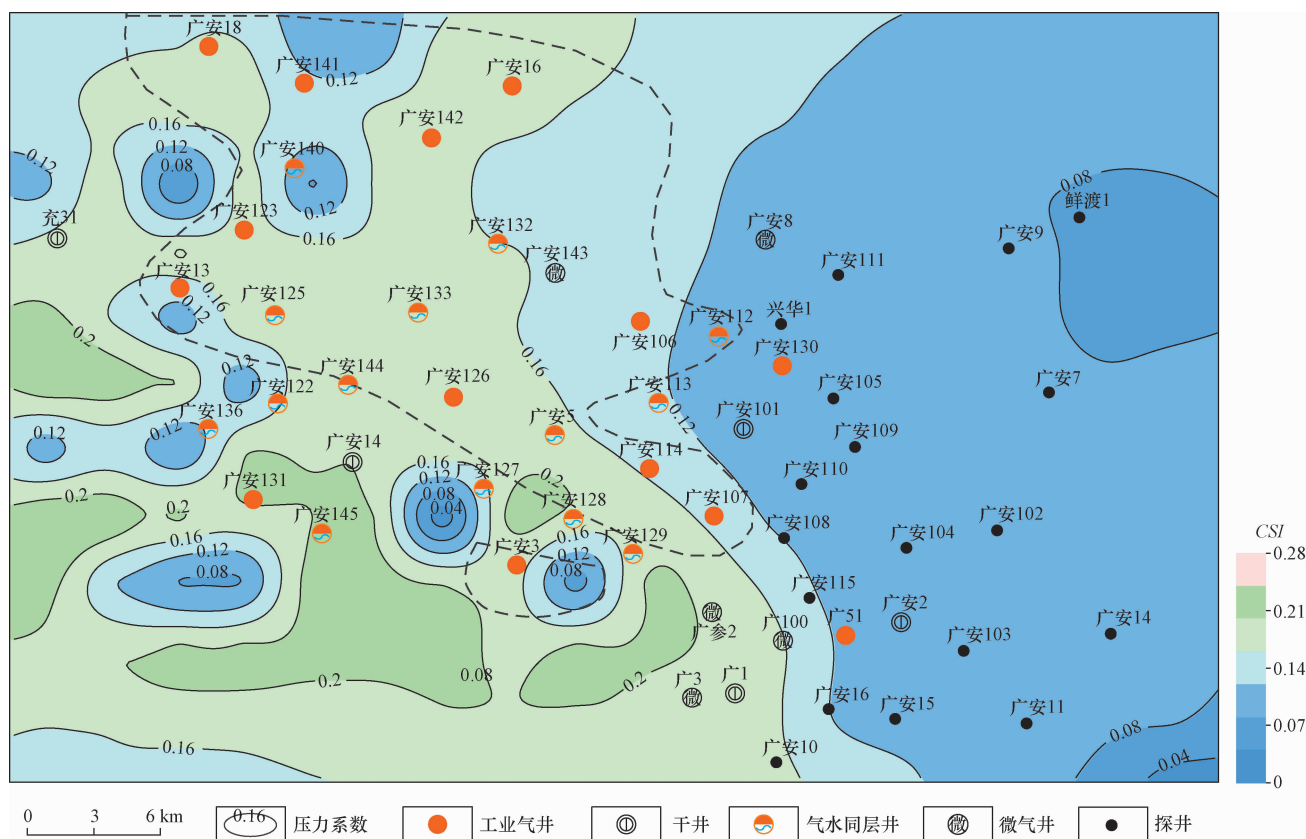


图7 广安气田须五段盖层封闭能力综合评价

Fig. 7 Comprehensive evaluation of cap rock sealing ability of the 5th Member in Xujiaweizi Formation in Guang'an gasfield

3) 致密砂岩大气田之一的广安气田须五段盖层为Ⅳ类盖层,能够封盖特低储量丰度的气田。盖层CSI值为0.04~0.24,总体表现为西高东低。该方法预测有利区与目前须四段气藏的分布区域较吻合。

参 考 文 献

- [1] 王晓梅,赵靖舟,刘新社,等.苏里格气田西区致密砂岩储层地层水分布特征[J].石油与天然气地质,2012,33(5):802-810.
Wang Xiaomei, Zhao Jingzhou, Liu Xinshe, et al. Distribution of formation water in tight sandstone reservoirs of western Sulige gas field, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 802-810.
- [2] 吕延防,付广,高大岭,等.油气藏封盖研究[M].北京:石油工业出版社,1996:4-30.
Lü Yanfang, Fu Guang, Gao Daling, et al. The sealing ability study of oil and gas reservoirs[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 4-30.
- [3] 张林晔,包友书,刘庆,等.盖层物性封闭能力与油气流体物理性质关系探讨[J].中国科学:地球科学,2010,40(1):28-33.
Zhang Linye, Bao Youshu, Liu Qing, et al. Effects of hydrocarbon physical properties on caprock's capillary sealing ability[J]. Science China: Earth Science, 2010, 40(1): 28-33.
- [4] 张蕾.盖层物性封闭力学机制新认识[J].天然气地球科学,2010,21(1):112-116.
Zhang Lei. Reevaluation of caprock physical sealing mechanic[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 112-116.
- [5] 张文旗,王志章,侯秀林,等.盖层封盖能力对天然气聚集的影响——以鄂尔多斯盆地大牛地气田大12井区为例[J].石油与天然气地质,2011,32(6):882-889.
Zhang Wenqi, Wang Zhizhang, Hou Xiulin, et al. Influences of caprock sealing capacity on natural gas accumulation: an example from D-12 wellblock of Daniudi gas field in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 882-889.
- [6] 付广,胡明,于丹.火山岩盖层类型及封气能力——以松辽盆地徐家围子断陷为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2010,40(2):237-244.
Fu Guang, Hu Ming, Yu Dan. Volcanic cap rock type and evaluation of sealing gas ability: an example of Xujiaweizi Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(2): 237-244.
- [7] 吕延防,付广,于丹.中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J].石油与天然气地质,2005,26(6):742-745.
Lü Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of cap rock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 742-745.
- [8] 史集建,吕延防,付广,等.松辽盆地徐家围子断陷火山岩盖层封气能力综合定量评价[J].石油学报,2011,32(3):424-431.
Shi Jijian, Lü Yanfang, Fu Guang, et al. Synthetically and quantitatively assessing gas-sealing ability of volcanic cap rocks in the Xujiaweizi Sag of the Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 424-431.
- [9] 史集建,付广,吕延防,等.歧口凹陷沙河街组一段中部区域盖层封气能力综合评价[J].石油与天然气地质,2011,32(5):

- 671-681.
Shi Jijian, Fu Guang, Lü Yanfang, et al. Comprehensive evaluation of regional seal in middle of the first member of Shahejie Fm in Qikou Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 671-681.
- [10] 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大中型气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
Kang Zhulin, Fu Chengde, Cui Shufen, et al. Generality of Chinese large and medium gas fields[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [11] 吕延防, 沙子萱, 付晓飞, 等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34-38.
Lü Yanfang, Sha Zixuan, Fu Xiaofei, et al. Quantitative evaluation method for fault vertical sealing ability and its application [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 34-38.
- [12] Yielding G, Freeman B. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 898-915.
- [13] 李吉君, 崔会英, 卢双舫, 等. 川中广安地区须家河组煤系烃源岩生气特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 273-278.
Li Jijun, Cui Huiying, Lu Shuangfang, et al. Generation characteristics of natural gas from the coal measures in Guang'an area of central Sichuan Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(2): 273-278.
- [14] 赵文智, 王红军, 徐春春, 等. 川中地区须家河组天然气藏大范围成藏机理与富集条件[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 146-157.
Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, Xu Chunchun, et al. Reservoir-forming mechanism and enrichment conditions of the extensive Xujiahe Formation gas reservoirs, central Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration & Development, 2010, 37(2): 146-157.
- [15] 卞从胜, 王红军, 尹平, 等. 广安气田须家河组天然气大面积成藏的条件[J]. 天然气工业, 2009, 9(6): 19-22.
Bian Congsheng, Wang Hongjun, Yin Ping, et al. Formation conditions of large-scale gas accumulation in the Xujiahe formation of Guang'an gas field[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(6): 19-22.
- [16] 郝国丽, 柳广弟, 谢增业, 等. 广安气田上三叠统须家河组致密砂岩储层气水分布特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(3): 1-7.
Hao Guoli, Liu Guangdi, Xie Zengye, et al. Distribution characteristics of gas and water of tight sandstone gas reservoir in upper Triassic Xujiahe Formation of Guang'an gas field[J]. Journal of China University of Petroleum, 2010, 34(3): 1-7.
- [17] 王亮, 牛成民, 杨波, 等. 莱州湾凹陷沙三段含油气系统与有利勘探方向[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 545-548.
Wang Liang, Niu Chengmin, Yang Bo, et al. Petroleum system and favorable exploration targets of the third member of Shahejie Formation in Laizhouwan Depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(5): 545-548.
- [18] 付广, 王立志. 源断裂在断陷盆地油运聚成藏中的作用研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(6): 686-690.
Fu Guang, Wang Lizhi. Effect of source faults in oil migration and accumulation in fault basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(6): 686-690.
- [19] 袁亚娟, 夏斌, 吕宝凤. 柴达木盆地断裂组合特征及油气成藏意义[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 212-216.
Yuan Yajuan, Xia Bin, Lv Baofeng. Assemblage characteristics of faults and its significance to hydrocarbon accumulation in Qaidam Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(2): 212-216.

(编辑 董立)

《石油与天然气地质》成为“中国知网”优先数字出版期刊

根据《石油与天然气地质》编辑部与“中国知网”签订的“期刊优先数字出版合作协议”,《石油与天然气地质》已成为“中国知网”优先数字出版期刊。

优先数字出版就是以数字出版方式提前出版期刊内容,出版形式上包括单篇出版和整期出版。优先数字出版的特点是出版时间快,出版方式灵活,发行范围广。通过快速发表的方式,可以使刊物更能满足作者快速传播,增加学术影响力的需求,进而吸引更多、更好的稿源;也可以通过快速上网,提高期刊的下载量和引用量,进而提高期刊的影响因子。学术期刊优先数字出版对提高期刊影响力效果显著,已被国际学术期刊界广泛认可并纷纷实施。“中国知网”于2010年在国内率先推出这种出版模式,标志着我国学术期刊实现数字化转型的又一个新的历史性开端。目前,国内已有1400多家期刊使用“中国知网”学术数字出版平台进行优先数字出版。

(李军 供稿)