

盖层封闭天然气有效性定量评价方法及应用

付广, 胡欣蕾

(东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:为研究盖层在含油气盆地或凹陷内天然气聚集中的作用,在盖层封闭有效性及其与天然气富集关系研究的基础上,选取主要影响因素作为评价参数,利用模糊评价方法,建立了一套同时考虑盖层封闭天然气能力和时间有效性的盖层封闭天然气有效性定量评价方法,并将其应用于定量评价大港油田21个气藏盖层封闭天然气有效性,结果表明:大港油田21个气藏中有16个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值大于零,封闭天然气有效性相对较好,有利于天然气聚集与保存;有5个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值小于零,封闭天然气有效性相对较差,不利于天然气聚集与保存;有盖层封闭的天然气有效性越好,气藏储量丰度越高,反之则越低。这一评价结果与目前气藏储量丰度具有一定的正相关关系,表明该方法用于定量研究盖层封闭天然气有效性是可行的。

关键词:盖层;天然气;封闭能力有效性;封闭时间有效性;定量评价;大港油田

中图分类号:P618.3

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)04-0028-09

Quantitative Evaluation Method of Sealing Gas Efficiency of Caprock and Its Application

Fu Guang, Hu Xinlei

(College of Earth Science, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China)

Abstract: To study the role of caprock in gas accumulation in oil-gas-bearing basin or depression, and on the basis of researches on sealing gas efficiency of caprock and its relation with gas accumulation, the main influence factors were selected as evaluation parameters and fuzzy mathematics evaluation method was used to establish a set of comprehensive quantitative evaluation method of sealing gas efficiency of caprock, considering both sealing gas ability efficiency and sealing gas time efficiency of caprock. This method was applied to the quantitative evaluation of sealing gas efficiency of caprock in 21 gas reservoirs of Dagang Oilfield. The results indicate that among 21 gas reservoirs of Dagang Oilfield, the comprehensive quantitative evaluation weight of sealing gas efficiency of caprock in 16 gas reservoirs are greater than zero, and the sealing gas efficiency of caprock is relatively good, which is favorable for gas accumulation and preservation, while those in 5 gas reservoirs are less than zero and the sealing gas efficiency of caprock is relatively bad, which is not favorable for gas accumulation and preservation. The better the sealing gas efficiency of caprock is, the higher the reserve abundance is, and vice versa. There is some positive correlation between this evaluation result and the current abundance of gas reservoir, indicating that this method used to quantify the sealing gas efficiency of caprock is feasible.

Key words: caprock; gas; sealing ability efficiency; sealing time efficiency; quantitative evaluation; Dagang Oilfield

随着天然气勘探的深入,人们对盖层的认识也在不断加深。盖层不仅控制着含油气盆地或凹陷内天然气的空间分布,而且控制着含油气盆地或凹陷内天然气聚集的数量;不仅反映了盖层封闭天然气能力的有效性,而且反映了盖层封闭天然气时间的有效性。盖层封闭天然气能力和时间有效性越好,天然气聚集与分布

收稿日期:2014-10-13

基金项目:国家自然科学基金项目(41372153)

作者简介:付广(1962—),男,辽宁新宾人,教授,博士,主要从事油气藏形成与保存条件研究。E-mail:fuguang2008@126.com

的数量越大,反之则越少。关于盖层封闭油气能力有效性和时间有效性,前人曾做过大量研究和探讨,已通过盖层封闭能力和油气藏内部剩余压力的比较和盖层封闭能力形成时期与源岩大量排气期的比较,建立了一套适用于盖层封闭油气能力有效性和时间有效性^[1-12]的研究方法,该方法有助于研究盖层在含油气盆地或凹陷内油气聚集中所起的作用。然而,这些研究均是将盖层封闭油气能力有效性和时间有效性分别进行的,如文献[1-8]对盖层封闭天然气能力的有效性研究,而文献[5,6,9-12]对盖层封闭天然气时间的有效性研究,并没有将二者综合起来考虑,二者之间为何种关系,目前尚无文献报道,不利于含油气盆地或凹陷油气资源量的准确估算。因此,开展盖层封闭天然气有效性定量评价方法研究,对于正确认识含油气盆地或凹陷天然气资源分布和指导天然气勘探均具有重要意义。

1 盖层封闭天然气有效性及其与天然气富集的关系

盖层封闭天然气有效性应包括封闭能力有效性和封闭时间有效性两个方面。

1.1 盖层封闭天然气能力有效性及其与天然气富集的关系

所谓盖层封闭天然气能力有效性是指盖层封闭能力(排替压力)与气藏内部能量(剩余压力)之间的匹配关系,如果盖层排替压力大于或等于气藏剩余压力时,盖层封闭天然气在能力上是有效的,有利于天然气聚集与保存;相反,如果盖层排替压力小于气藏剩余压力时,盖层封闭天然气能力有效性差,气藏中的天然气将在剩余压力作用下通过盖层渗滤散失,不利于天然气聚集与保存,直至气藏剩余压力小于或等于盖层排替压力时,天然气通过盖层向外散失停止,如图 1(a)所示。

1.2 盖层封闭天然气时间有效性及其与天然气富集的关系

所谓盖层封闭天然气时间有效性是指盖层封闭天然气能力形成时期与源岩大量排气期之间的匹配关系,如果盖层封闭天然气能力形成时期早于或与源岩大量排气期同期,盖层便可以封闭源岩排出的大量天然气,有利于天然气聚集成藏,盖层封闭天然气的时问有效性好。如果盖层封闭天然气能力形成时期晚于源岩大量排气期,盖层所能封闭住天然气量受到二者时间差大小的影响,二者时间差越小,盖层所能封闭住的天然气量相对越多,越有利于天然气聚集成藏,盖层封闭天然气时间有效性相对越好;反之盖层封闭天然气时间有效性越差,如图 1(b)所示。

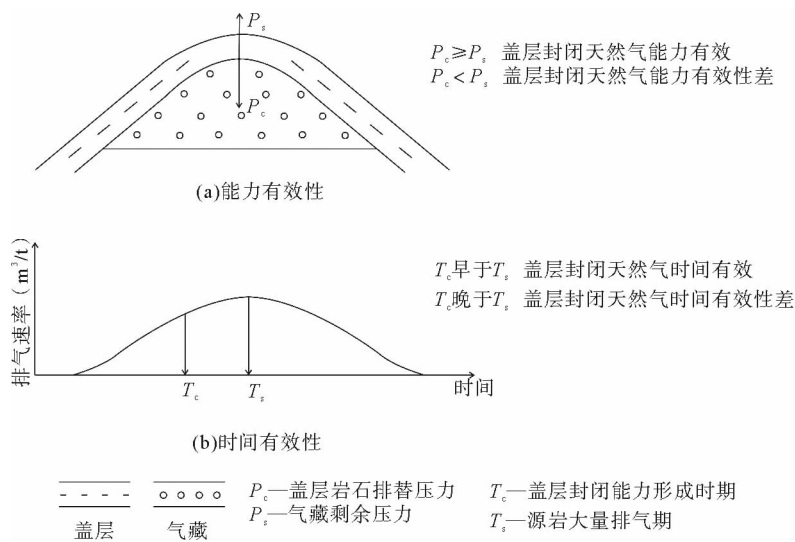


图 1 盖层封闭天然气有效性示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sealing gas efficiency of caprock

2 盖层封闭天然气有效性定量评价

2.1 数学模型

盖层封闭天然气时间有效性和盖层封闭天然气能力有效性对天然气藏形成与保存所起的作用是不同的,前者是气藏从源岩处所能聚集天然气量的大小;后者则影响进入气藏中能够保存下来的天然气量,后者只有在前者起作用后才能发挥作用。因此,盖层封闭天然气时间有效性和封闭天然气能力有效性是气藏形成与保存过程中两个封闭阶段特征的反映,应属于两个独立的变量,而且盖层封闭天然气有效性与两者均成正比关系,故本文利用模糊数学的方法,采用二者的乘积大小来反映盖层封闭能力有效性和时间有效性对盖

层封闭天然气有效性的影响,可用式(1)来计算盖层封闭天然气有效性定量评价权值:

$$f_c = f_b \times f_t \quad (1)$$

其中: f_c —盖层封闭天然气有效性评价权值; f_b —盖层封闭天然气能力有效性评价权值; f_t —盖层封闭天然气时间有效性评价权值, $f_t \leq 1$ 。

由式(1)可以看出,当 $f_t = 0$ 时,即盖层封闭能力形成时期晚于源岩大量排气期,气藏内没有天然气聚集。此时无论 f_b 大小如何,气藏内均无天然气保存下来,即 f_c 应为0。当 $f_t = 1$ 时,即盖层封闭能力形成时期早于或与源岩大量排气期同期,气藏可以聚集大量天然气,此时气藏所能保存下来的天然气大小主要取决于 f_b 大小, f_b 越大,气藏中所能保存下来的天然气量越大;反之,则越小。当 $0 < f_t < 1$ 时,气藏中所能保存下来的天然气量大小应同时受到 f_t 和 f_b 的影响, f_t 和 f_b 越大,气藏中所能保存下来的天然气量越大;反之,则越小。

2.2 主要参数的确定

由式(1)可以看出,要确定盖层封闭天然气有效性评价权值,就必须先确定盖层封闭天然气能力有效性和封闭时间有效性的评价权值。

2.2.1 盖层封闭天然气能力有效性评价权值

由于盖层封闭天然气能力有效性的好坏主要取决于盖层排替压力和气藏剩余压力的相对大小,故盖层排替压力越大,气藏剩余压力越小,盖层封闭天然气能力有效性越好,反之则越差。故本文采用盖层排替压力与气藏剩余压力之差与盖层排替压力的比值来反映盖层封闭天然气能力有效性的好坏:

$$f_b = \frac{P_c - P_s}{P_c} \quad (2)$$

其中: P_c —盖层岩石排替压力,MPa; P_s —气藏内剩余压力,MPa。

由式(2)可以看出,盖层岩石排替压力越大,气藏内剩余压力越小,盖层封闭天然气能力有效性评价权值越大;反之则越小。

式(2)中的盖层岩石排替压力可以用盖层岩石样品通过直接驱替法^[13]实测获取,或根据研究区实测沉积岩排替压力与其泥质含量和埋深之间的经验关系式式(3),利用盖层岩石泥质含量和埋深计算求取:

$$P_c = ae^{bz_c R} \quad (3)$$

其中: P_c —泥岩盖层排替压力,MPa; Z_c —泥岩盖层埋深,m; R —泥岩盖层中泥质含量,小数; a, b 是与地区有关的常数。

而气藏剩余压力 P_s 可根据气藏压力系数的测试,由气藏埋深利用式(4)求得:

$$P_s = (K - 1)\rho_w Z \quad (4)$$

其中: K —气藏压力系数; ρ_w —地层水密度, g/cm^3 ; Z —气藏埋深,m。

2.2.2 盖层封闭天然气时间有效性评价权值

由于盖层封闭天然气时间有效性主要取决于盖层封闭能力形成时期与源岩大量排气期的相对时间早晚,用 f_t 表示:

$$f_t = \begin{cases} 1, T_c \text{ 早于 } T_s \text{ 或同期} \\ \frac{T_c}{T_s}, T_c \text{ 晚于 } T_s \end{cases} \quad (5)$$

T_c 为盖层封闭能力形成时期,通常情况下盖层并非一经沉积就可形成对天然气的封闭能力,而是随着埋深增加,压实成岩作用增强,达到一定程度后才开始形成对天然气的封闭能力。可通过盖层封闭能力演化过程恢复,按照文献[14]中盖层封闭能力形成所需要的最小排替压力为1 MPa的标准,确定盖层排替压力等于1 MPa时的埋深,再由地层厚度和沉积速率便可以得到盖层排替压力达到1 MPa的时期,即为盖层封闭能力形成时期。 T_s 为源岩大量排气期,可根据源岩生排气史模拟,做出源岩排气速率随时间变化关系的曲线,取其排气速率最大时期即为源岩大量排气期。

由式(5)可以看出,当盖层封闭能力形成时期早于或与源岩大量排气期同期时,盖层能够封闭住源岩排

出的大量天然气,封闭天然气时间有效性好,盖层封闭天然气时间有效性评价指数为1;当盖层封闭能力形成时期晚于源岩大量排气时期时,盖层封闭能力形成时期相对越早,源岩大量排气期相对越晚,盖层封闭天然气时间有效性评价权值相对越大;反之则越小。

3 实例

选取渤海湾盆地大港油田 21 个气藏为例,利用上述方法定量研究盖层封闭天然气的有效性,并通过研究结果与目前气藏天然气储量丰度之间的分布关系分析,验证该方法用于定量研究盖层封闭天然气有效性的可行性。

大港油田位于渤海湾盆地黄骅坳陷中部,主要包括歧口凹陷、板桥凹陷、板桥断裂构造带、南大港潜山构造带、北大港潜山构造带、塘沽新港潜山构造带以及沈青庄潜山构造带、白东海 2 断裂构造带、板桥构造带、歧东海 I 构造带、张巨河构造带、三木潜山构造带、羊三庄裙边构造带、赵家堡海 4 构造带和沧县隆起等构造单元,如图 2 所示。该油田从下至上发育古近系孔店组、沙河街组、东营组、新近系馆陶组、明化镇组及第四系。到目前为止,不但该油田从古生界至上部新生界明化镇组中找到大量油藏外,还找到了 21 个天然气气藏,从下部的古生界至上部新生界明化镇组皆有分布^[15],平面上主要分布在北大港潜山构造带和白东海 2 断裂构造带,少量分布在三木潜山构造带和歧口凹陷。气藏盖层主要是沙一段中部、东二段和明化镇组发育的泥岩盖层。其中被沙一段中部泥岩盖层封盖的气藏有 11 个,被东二段泥岩盖层封盖的气藏有 3 个,被馆陶组泥岩盖层封盖的气藏也有 3 个,其余 4 个气藏被明化镇组的泥岩盖层封盖。如表 1 所示,气藏盖层最大

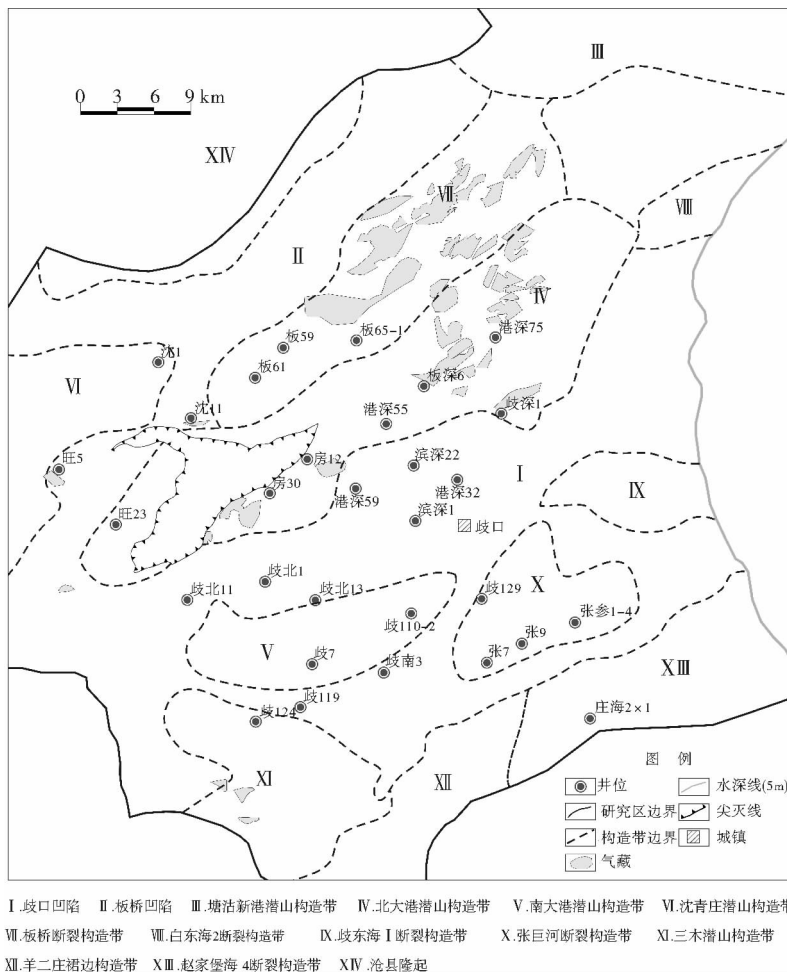


图 2 大港油田天然气分布与构造单元关系图

Fig. 2 Relation between gas distribution and structure units in Dagang Oilfield

厚度达 162.0 m,如唐家河 1—断块。气藏盖层最小厚度仅 15.5 m,如港中-南四气藏。盖层平均厚度为 63.3 m,如表 1 所示。三套盖层中以东二段盖层厚度最大,平均厚度为 82.9 m;其次是沙一段中部盖层,平均厚度为 64.5 m;再次是馆陶组盖层,平均厚度为 54.5 m;最小为明化镇组盖层,平均厚度为 51.25 m,如表 1 所示。气源对比结果表明,天然气主要来自下伏沙三段发育的暗色泥岩^[16-17]。这些气藏盖层能否在能力上和时间上有效地封闭沙三段源岩所生成的天然气,对于这些气藏中天然气聚集与保存至关重要。

首先对歧口凹陷内主要探井的 41 块实测泥岩盖层样品,采用直接驱替法测试其排替压力(表 2),并据此建立大港油田盖层排替压力及其埋深、泥质含量之间的经验关系(式 6),根据盖层埋深并利用自然伽马测井曲线计算得到的盖层中的泥质含量(表 1),对大港油田 21 个气藏盖层岩石的排替压力进行计算,结果如表 1 所示,盖层岩石排替压力最大可达 7.93 MPa,最小仅 2.73 MPa,平均为 4.00 MPa。

$$P_c = 1.84 e^{0.00091Z_c R} \quad (6)$$

表 1 大港油田气藏盖层封闭天然气有效性定量评价参数表

Tab. 1 Comprehensive evaluation parameters for sealing gas efficiency of caprock in gas reservoirs of Dagang Oilfield

气藏	含气层位	盖层层位	盖层厚度/m	P_c /MPa	K	Z /m	P_s /MPa	f_b	T_c /Ma	T_s /Ma	f_t	f_c	气藏储量丰度 /($10^8 m^3 \cdot km^{-2}$)
唐家河 4-港 22-1	Ed ³	Ed ²	31.0	4.57	1.09	2 701.0	2.43	0.47	16.0	28	0.57	0.27	3.81
唐家河 1—断块	Ed ³	Ed ²	162.0	7.93	0.89	2 227.6	-2.45	1.31	21.2	28	0.76	1.00	10.72
板桥 4-白 6-1-板四	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	62.0	3.18	0.79	3 184.9	-6.69	3.10	22.9	28	0.82	2.54	0.22
板桥 4-板 828-板四	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	33.0	6.38	0.79	3 286.2	-6.90	2.08	37.7	28	1.00	2.08	8.75
港中-南四	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	15.5	6.94	0.78	2 559.8	-5.63	1.81	25.0	28	0.89	1.61	5.29
板桥 4-大张坨	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	84.5	3.51	0.92	3 198.0	-2.56	1.73	37.5	28	1.00	1.73	1.9
千米桥	O	Es ^{1(中)}	102.0	2.86	0.43	4 013.0	-22.87	9.00	22.1	28	0.79	7.11	5.41
港东—一区五	Nm ^(上)	Nm	94.1	2.73	1.71	1 977.5	14.04	-4.14	11.1	28	0.40	-1.66	2.37
港东—一区七八	Ng	Ng	80.5	5.30	1.67	1 017.0	6.81	-0.28	0.0	28	0	0	5.97
板桥-板四	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	72.0	3.79	0.88	2 744.2	-3.29	1.87	14.8	28	0.53	14.50	2.95
唐家河-三断块	Ed ³	Ed ²	55.5	2.75	1.09	2 433.5	2.19	0.20	14.6	28	0.52	0.10	4.26
板桥 4-板 814-板二	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	56.5	2.82	0.77	2 770.0	-6.37	3.26	19.3	28	0.69	2.25	0.05
板桥-板二	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	55.0	2.98	0.92	2 866.5	-2.29	1.77	7.2	28	0.27	0.48	1.19
板桥 4	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	77.1	5.36	0.51	2 737.0	-13.41	3.50	23.9	28	0.85	2.98	4.81
板桥 4-板 831-板四	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	102.0	3.20	0.65	2 677.0	-9.37	3.93	7.9	28	0.28	1.10	1.58
港东-二区五	Nm ^(上)	Nm	35.5	3.52	1.14	1 952.5	2.73	0.22	17.0	28	0.61	0.13	2.96
港东-二区六	Nm ^(上)	Nm	28.9	4.48	1.25	2 042.0	5.11	-0.14	9.7	28	0.35	-0.05	3.76
港东-二区一	Ng	Ng	45.0	6.67	2.36	3 672.0	49.93	-6.49	32.9	28	1.00	-6.49	1.75
港东—一区六	Nm ^(上)	Nm	46.5	2.77	1.10	1 900.0	1.90	0.31	11.5	28	0.41	0.13	1.05
港东—一区一	Ng	Ng	38.0	2.89	1.45	2 216.0	9.97	-2.45	13.8	28	0.49	-1.20	2.12
板桥 4-板三	Es ^{1(F)}	Es ^{1(中)}	52.0	3.01	1.39	4 120.5	16.07	-4.34	24.8	28	0.89	-3.86	2.43

通过统计大港油田 21 个气藏的压力系数和埋深(表 1),由式(4)计算得到其剩余压力(表 1),由表 1 可以看出,剩余压力最大可达 49.93 MPa,最小为-22.87 MPa。其中有 10 个气藏内剩余压力为正值,表明气藏内部能量相对较高,不利于天然气的聚集与保存;有 11 个气藏内剩余压力为负值,表明气藏内部能量相对较低,有利于天然气聚集与保存。

表 2 歧口凹陷泥质盖层样品排替压力实验测试数据

Tab. 2 Displacement of mudstone cap rock samples tested in laboratory in Qikou Sag

井号	层位	深度/m	排替压力/MPa	泥质含量/%	井号	层位	深度/m	排替压力/MPa	泥质含量/%
歧 129	Es ²	4 098.5	15.30	56.3	板深 18	Es ¹³	3 251.4	1.30	15.2
歧 129	Es ¹²	3 778.2	15.40	59.0	板深 68	Es ³	4 245.9	3.50	23.9
歧 124	Es ³	2 336.7	3.10	18.0	港 22-1	Nm	2 197.9	4.60	35.4
板深 68	Es ³	4 245.9	11.80	53.0	港深 18-1	Es ¹³	3 272.6	4.20	51.0
庄 68	Es ¹²	2 665.8	2.80	17.1	港 396	Mz	3 022.6	3.80	16.8
歧 74	Es ³	2 657.0	15.60	62.3	港深 19	Es ¹²	3 521.2	6.60	44.6
港 374	Es ¹³	2 826.1	5.50	44.3	港新 57	Es ¹²	3 477.1	9.40	49.7
张 14-1	Ed	2 871.4	8.60	70.7	港 339	Ed	3 700.8	2.30	22.7
歧 127	Ed	2 289.3	4.80	70.2	港深 18	Es ¹¹	3 263.3	9.90	45.8
港深 9	Es ¹³	3 156.8	3.80	25.9	歧 129	Ed	2 852.8	16.30	76.0
港深 68	Es ¹³	3 126.2	3.20	18.7	东古 1	C	3 540.3	19.10	72.0
港深 67	Es ¹¹	3 846.1	1.50	23.7	灯参 1	C	3 758.2	3.90	55.0
港深 66	Es ^{1(中)}	3 441.5	5.40	41.4	塘 19	P	3 815.0	18.10	65.0
港深 56	Es ²	3 192.2	2.80	37.1	港古 1-1	P	1 788.1	5.80	60.0
白 20-2	Es ¹²	3 176.2	5.50	29.2	孔古 8	C	2 818.5	22.10	78.0
板 834-3	Es ¹¹	3 021.4	2.90	28.4	歧 107	Es ³	2 813.5	12.30	68.0
歧 124	Es ²	2 263.5	14.00	75.0	板 57	Es ¹¹	2 584.0	0.15	3.9
板 63	Es ³	2 694.6	0.12	8.9	港深 14	Es ¹¹	4 045.2	0.18	4.6
板 837	Es ¹²	2 705.9	0.11	5.4	港深 21	Es ¹¹	3 897.9	1.09	5.8
板深 16	Ed	3 672.1	0.15	7.3	港 205	Nm	1 632.6	0.10	10.1
板深 51	Es ³	3 705.5	0.74	7.8	西检 1	Ng	1 274.1	0.04	7.2
板深 72	Es ³	3 670.1	0.50	6.1	庄 63	Nm	1 301.8	0.08	9.4
港 205	Ng	2 148.2	0.04	6.0	羊检 1	Ng	1 350.6	0.08	8.6
港 303	Ed	2 857.4	0.25	7.7	港深 14	Es ¹¹	4 045.2	0.18	4.6

通过比较大港油田 21 个气藏盖层排替压力和气藏内剩余压力相对大小,由式(1)对其盖层封闭天然气有效性评价权值进行研究,结果如表 1 所示,盖层封闭天然气能力有效性评价权值为-4.34~9.00,其中 15 个气藏盖层排替压力大于气藏内剩余压力,具有有效封闭天然气的的能力,有利于天然气在气藏中聚集与保存,6 个气藏盖层排替压力小于气藏内剩余压力,不能有效封闭天然气,气藏中的天然气将在剩余压力的作用下向外散失,直至剩余压力与盖层排替压力相等时,气藏中天然气向外散失作用停止。

源岩气排烃史研究^[18]结果表明,大港油田沙三段烃源岩在东营组沉积末期(约 28 Ma)开始大量排气,至今尚未进入排气高峰期,即源岩开始大量排气期 T_c 等于 28 Ma(图 3)。

由以上讨论可知,大港油田 21 个气藏盖层目前平均具有中等封闭能力,但这一封闭能力并非一经沉积就形成了。而是随着埋深不断增加,压实成岩作用增强,孔隙度和渗透率逐渐降低,排替压力逐渐增大形成的,当泥岩盖层排替压力达到 1 MPa 时,具备封闭天然气能力。由该区泥岩排替压力与埋深、泥质含量关系式(式 6),可确定当盖层排替压力为 1 MPa 时的埋深,再由地层厚度及沉积资料,可确定盖层封闭能力开始形成时期(表 2),由表 2 可以看出,盖层封闭性开始形成时期最早(板桥-板 828-板四气藏)为距今 37.7 Ma,相当于沙一段沉积末期,最晚(港东一区七八气藏)为现今时期才具封闭性。通过比较盖层封闭能力形成时期与沙三段源岩开始大量排气时期,由表 1 中可以看出,大港油田 21 个气藏盖层封闭天然气时间有效性评

价权值为 0~1, 其中只有 3 个气藏盖层封闭能力形成时期与沙三段源岩开始大量排气时期同期, 盖层封闭天然气时间有效性好, 有利于天然气聚集成藏。其余 18 个气藏盖层封闭能力形成时期均晚于沙三段源岩开始大量排烃时期, 盖层封闭天然气时间有效性差, 不利于天然气的聚集成藏。

由表 2 可以看出, 大港油田 21 个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值为 -6.49~14.50。有 16 个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值为正, 表明气藏盖层封闭天然气有效性相对较好, 有利于天然气聚集与保存; 有 5 个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值为负, 表明气藏盖层封闭天然气有效性相对较差, 不利于天然气聚集与分布。

为了验证该方法的可行性, 将本文的研究结果与目前 21 个气藏储量丰度进行比较作图(图 4), 可以看出二者之间具有一定的正相关关系, 即盖层封闭天然气有效性定量评价权值越大, 气藏储量丰度越大; 反之则越小。这也符合气藏天然气聚集规律, 因为盖层封闭天然气有效性定量评价权值越大, 越有利于天然气在气藏中的聚集与保存, 所形成的气藏储量丰度越高; 反之则越低。但个别气藏出现异常现象, 即气藏盖层封闭天然气有效性定量评价权值越大, 气藏储量丰度却越小。这是因为盖层并非是影响气藏储量丰度的唯一因素, 气藏储量丰度除受盖层影响外, 还受源岩供给、储集条件和圈闭条件等的影响。

4 结论

1) 盖层封闭天然气有效性包括封闭天然气能力有效性和封闭天然气时间有效性, 二者综合控制盖层封闭天然气的有效性, 前者主要影响天然气的保存数量, 受盖层岩石排替压力与气藏剩余压力相对大小的影响; 后者则影响天然气的聚集数量, 受盖层封闭能力形成时期与源岩大量排气期相对早晚的影响。

2) 本文建立的盖层封闭天然气有效性综合定量评价方法, 既考虑盖层封闭天然气能力有效性, 又考虑盖层封闭天然气时间有效性, 更接近实际真值, 更能正确反映盖层封闭天然气的能力。

3) 本文方法在大港油田 21 个气藏盖层封闭天然气有效性定量评价中的应用结果表明, 盖层封闭天然气有效性定量评价权值与气藏储量丰度之间具有一定的正相关性, 总体来讲, 盖层封闭天然气有效性定量评价权值越大, 气藏储量丰度越大, 表明该方法用于定量研究盖层封闭天然气有效性是可行的。

参考文献:

[1] 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.

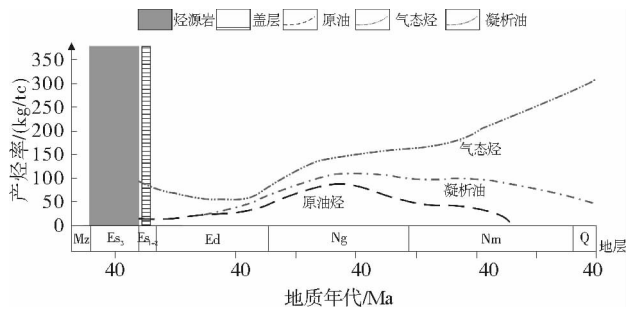


图 3 大港油田沙三段源岩生气演化史

Fig. 3 Generation gas evolution history of Es₃ source rock in Dagang Oilfield

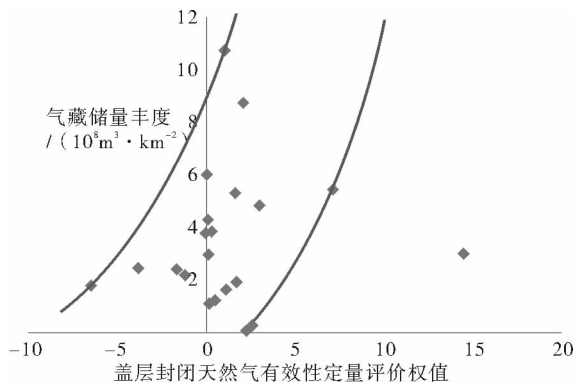


图 4 大港油田天然气有效性定量评价权值与气藏储量丰度之间关系图

Fig. 4 The relation between the comprehensive evaluation weight of sealing gas efficiency of caprock and the abundance of gas reserves in Dagang Oilfield

- fields and their contribution to gas accumulation[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(6): 742-745.
- [2] 薛永超,程林松,付广. 大庆长垣以东地区登二段泥质岩盖层封气能力综合评价[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2005, 35(5): 626-631.
- Xue Yongchao, Cheng Linsong, Fu Guang. Comprehensive evaluation of gas sealing ability of the lower Denglouku Formation (K_1d^2) mudstone cap-rock in the east of the Daqing Placanticline[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2005, 35(5): 626-631.
- [3] 赵玉珍. 我国高储量丰度大中型气田形成的盖层封闭能力有效性[J]. *大庆石油学院学报*, 2010, 34(3): 7-9.
- Zhao Yuzhen. Effectiveness of seal gas ability of cap rock for the formation of large and medium gas fields with high reserve abundance in China[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2010, 34(3): 7-9.
- [4] 高宁,王国庆,何淑娟,等. 一种利用盖层预测不同储量丰度气藏分布区的方法:以松辽盆地徐家围子断陷为例[J]. *大庆石油学院学报*, 2011, 35(3): 1-6.
- Gao Ning, Wang Guoqing, He Shujuan, et al. A method of forecasting distribution regions of gas reservoirs with different reserve abundance by cap rocks; An example of Xujiaweizi Depression in Songliao Basin[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2011, 35(3): 1-6.
- [5] 牟敦山,付广,胡明. 徐深气田盖层封气有效性研究[J]. *沉积学报*, 2011, 29(1): 158-162.
- Mu Dunshan, Fu Guang, Hu Ming. Research on sealing gas effectiveness of cap rock in Xushen Gasfield[J]. *Acta Sedimentological Sinica*, 2011, 29(1): 158-162.
- [6] 付广,王岐,史集建. 大港油田沙一段中部泥岩盖层封闭油气能力和时间有效性[J]. *中南大学学报:自然科学版*, 2012, 43(8): 3142-3148.
- Fu Guang, Wang Qi, Shi Jijian. Sealing oil-gas time and ability effectiveness of mudstone caprocks in middle Es_1 in Dagang Oilfield[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2012, 43(8): 3142-3148.
- [7] 史集建,李丽丽,吕延防,等. 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[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(3): 307-314.
- Shi Jijian, Li Lili, Lü Yanfang, et al. Comprehensive evaluation on the sealing capability of cap rocks in tight sandstone gasfield: A case study from Guang'an gasfield in the Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(3): 307-314.
- [8] 刚文哲,邹俭巍,高岗. 渤海湾盆地南堡凹陷滩海区油气立体输导模式:以南堡1号构造带为例[J]. *山东科技大学学报:自然科学版*, 2013, 32(2): 9-16.
- Gang Wenzhe, Zou Jianwei, Gao Gang. Hydrocarbon migration pattern of beach region in the Nanpu Depression, Bohai Bay Basin; An example of Nanpu 1 structure belt[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2013, 32(2): 9-16.
- [9] 吕延防,陈章明,付广. 松辽盆地朝长地区青山口组天然气盖层封闭特征及封闭有效性[J]. *石油勘探与开发*, 1993, 20(1): 55-61.
- Lü Yanfang, Chen Zhangming, Fu Guang. A study on the sealing property and the effectiveness of Qingshankou Formations as a gas cap rock in Chaochang Area, Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1993, 20(1): 55-61.
- [10] 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.
- [11] 吕延防,黄劲松,付广,等. 砂泥岩薄互层段中断层封闭性的定量研究[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 826-827.
- Lü Yanfang, Huang Jinsong, Fu Guang, et al. Quantitative study on fault sealing ability in sandstone and mudstone thin interbed[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 826-827.
- [12] 渠芳,陈清华,连承波,等. 孤岛油田西南缘油气运移通道匹配研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(3): 141-150.
- Qu Fang, Chen Qinghua, Lian Chengbo, et al. Research on the mechanism of hydrocarbon migration pathway in the southwest part of Gudao Oilfield[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(3): 141-150.
- [13] 付广,殷勤,杜影. 不同填充形式断层垂向封闭性研究方法及其应用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 27(1): 1-5.
- Fu Guang, Yin Qin, Du Ying. A method studying vertical seal of fault with different filling forms and its application[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2008, 27(1): 1-5.
- [14] 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(54): 671-681.
- Shi Jijian, Fu Guang, Lü Yanfang, et al. Comprehensive evaluation of regional seal in the middle of the first member of Sha-

hejie Fm in the Qikou Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 671-681.

- [15] 黄传炎, 王华, 吴永平, 等. 歧口凹陷第三系层序格架下的油气藏富集规律[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 4(5): 986-994.
Huang Chuanyan, Wang Hua, Wu Yongping, et al. Analysis of the hydrocarbon enrichment regularity in the sequence stratigraphic framework of Tertiary in Qikou Sag[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 4(5): 986-994.
- [16] 王振升, 于学敏, 国建英, 等. 歧口凹陷天然气地球化学特征及成因分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(4): 683-691.
Wang Zhensheng, Yu Xuemin, Guo Jianying, et al. Geochemical characteristics and genesis of natural gas in Qikou Sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(4): 683-691.
- [17] 吴元燕, 付建林, 周建生, 等. 歧口凹陷含油气系统及其评价[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 18-22.
Wu Yuanyan, Fu Jianlin, Zhou Jiansheng, et al. Evaluation of hydrocarbon system in Qikou Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6): 18-22.
- [18] 于丹, 付晓飞, 吕延防. 徐家围子断陷深层天然气盖层特征及封盖性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(5): 776-779.
Yu Dan, Fu Xiaofei, Lü Yanfang. Cap-rock characteristic and sealing ability evaluation of deep Xujiaweizi Fault Depression [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(5): 776-779.
- [19] 付广, 薛永超. 盖层与源岩的时空匹配关系对油气运聚成藏的控制作用[J]. 矿物岩石, 2001, 21(2): 56-61.
Fu Guang, Xue Yongchao. Controlling effect of match relation between caprock and sourcerock in time and space on formation of oil or gas pools[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(2): 56-61.

(责任编辑: 高丽华)