

我国不同类型盆地高效大中型气田形成的主控因素

付 广, 吕延防, 于 丹

大庆石油学院地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

摘要: 利用天然气地质储量、含气面积和成藏时期, 定义和求取了气藏天然气聚集效率。通过我国 60 余个大中型气田天然气聚集效率的计算, 将其分为高效、中效和低效 3 种类型。通过天然气聚集效率与各种成藏条件叠合研究得到, 我国不同类型盆地高效大中型气田形成主要受源岩供气能力、输导层输导能力和天然气封盖保存能力的控制。要形成高效大中型气田, 源岩生气强度前陆盆地一般应大于 $80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$, 克拉通盆地一般应大于 $26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$, 裂谷盆地应大于 $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 。输导层输导天然气能力前陆盆地和裂谷盆地应大于 $5 \times 10^{-14} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$, 克拉通盆地一般应大于 $6 \times 10^{-12} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。盖层封盖能力 CSI 前陆盆地一般应大于 $1 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$, 克拉通盆地一般应大于 $5 \times 10^9 \text{ m}/\text{s}$, 裂谷盆地一般应大于 $3 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$ 。天然气成藏期前陆盆地一般应晚于古近纪中期, 而克拉通和裂谷盆地均应晚于古近纪早期。

关键词: 大中型气田; 聚集效率; 主控因素; 生气强度; CSI; 成藏期; 输导速度。

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2007)01-0082-07

收稿日期: 2006-04-05

Major Factors Controlling Formation of Large and Intermediate Gas Fields with High Gas Accumulation Efficiency in Different Types of Basins in China

FU Guang, LÜ Yan-fang, YU Dan

Geoscience College, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China

Abstract: In this paper, gas accumulation efficiency was defined and calculated in terms of gas reserves, gas-bearing areas and accumulation periods. The calculation of gas accumulation efficiencies for about 60 large and intermediate gas fields in China concludes three types of large and intermediate gas fields with high, middle and low gas accumulation efficiencies. The comprehensive study of gas accumulation efficiency and different pooling conditions reveals that the formation of large and intermediate gas fields with high gas accumulation efficiency in different types of basins in China was controlled by gas supply of source rocks, gas transportation and gas seal and preservation. The creation of high gas accumulation intensity of source rocks in the large and intermediate gas fields is indispensable to the foreland basin often greater than $80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$, to the cratonic basin often greater than $26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$, and to the rift basin often greater than $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$. The gas transportation velocity of transporting layer in the foreland and rift basins should often be greater than $5 \times 10^{-14} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$, that in the cratonic basin greater than $6 \times 10^{-12} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$. The comprehensive caprock seal index in the foreland basin should often be greater than $1 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$, that in the cratonic basin greater than $5 \times 10^9 \text{ m}/\text{s}$, and that in the rift basin greater than $3 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$. The gas accumulation period in the foreland basin should often be later than the Middle Eocene, and that in the cratonic and rift basins later than the Early Eocene.

Key words: large and intermediate gas fields; accumulation efficiency; major controlling factors; generation intensity; caprock seal index; accumulation period; transporting velocity.

天然气与石油相比,不仅形成条件广泛,既有有机成因的天然气,又有无机成因的天然气.即使是有机成因的天然气,其形成范围也较石油广泛,可形成于整个有机质成烃演化过程的始终.而且因其分子小,重量轻,活动性强,较石油更易在地下发生渗滤和扩散(郝石生等,1991;郝石生等,1993;卢双舫等,2002).正是由于这 2 个特征,使得天然气聚集成藏机制及主控因素明显不同于石油,除了具有与石油运聚成藏共同的特征外,还有其自己的特殊性.因此,开展天然气藏形成,尤其是不同类型盆地高效大中型气田的形成主控因素研究,对于我国今后高效大中型气田的勘探及丰富和完善我国天然气成藏理论均具有重要意义.

1 天然气聚集效率及其计算方法

这里所说的天然气聚集效率应是指一个气藏单位时间内天然气聚集数量的相对大小,它不同于天然气评价中的“运聚系数”和“聚集效率”,虽然它们都是反映天然气聚集好与坏的评价参数,但本文的天然气聚集效率是针对一个气藏而言的,而天然气评价中的“运聚系数”则是相对天然气生成量而言的,“聚集效率”是相对天然气运移量而言的.

根据天然气运聚动平衡理论(郝石生等,1991),一个气藏天然气聚集后,其原始聚集量在之后的地质时期是不断变化的,是增大还是减小,主要取决于源岩的供气作用和气藏散失作用的相对大小,前者大于后者,聚集量增加;反之聚集量则减小.由此得到的一个气藏目前的储量并非是其原始聚集量,因此本文用单位时间内气藏单位面积内的目前地质储量大小式(1)来近似反映气藏形成时天然气聚集效率的高低.

$$q = \frac{Q}{S_t}, \quad (1)$$

式中: q 为一个气藏天然气聚集效率, $10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$; Q 为气藏的地质储量, 10^8 m^3 ; S 为含气面积, km^2 ; t 为天然气藏形成时间, Ma .

由式 1 可以看出,一个气藏天然气目前地质储量越大,含气面积相对越小,形成时间越短,则天然气聚集效率相对越高;反之则越低.气藏天然气地质储量和含气面积可直接利用油田研究结果获得.气藏形成时间可根据流体包裹体均一温度(门相勇,2002;赵靖舟,2002;万晓龙等,2004;杨万芹和蒋有

录,2004)或自生伊利石同位素测年方法(王飞宇等,1998;辛仁臣等,2000),由资料(戴金星等,1997;康竹林等,2000;李剑,2000;戴金星等,2003;柳广弟等,2005;王龙璋等,2005)确定出的绝对年龄获得.

2 我国大中型气田天然气聚集效率特征

利用资料(戴金星等,1997;王飞宇等,1998;康竹林等,2000;李剑,2000;辛仁臣等,2000;赵靖舟,2002;门相勇,2002;戴金星等,2003;万晓龙等,2004;杨万芹和蒋有录,2004;柳广弟等,2005)可以得到我国 60 余个大中型气田天然气地质储量、含气面积和聚集时间(表 1),由式(1)对其天然气聚集效率进行了计算,结果如表 1 所示.由表 1 中可以看出,我国 60 余个大中型气田的天然气聚集效率的高低明显不同,最高的是克拉 2 气田,天然气聚集效率可达到 $1\ 064.16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$,而最小的是靖边气田,天然气聚集效率只有 $1.01 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$,二者相差 1 000 余倍,这表明同是大中型气田其天然气聚集效率存在明显的差别.根据我国大中型气田天然气聚集效率的不同,可以把它划分为 3 个等级:(1)聚集效率大于 $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 的气田为高效气田,我国有 20 个大中型气田,主要分布在塔里木、柴达木、莺琼、渤海湾和松辽盆地,并且以塔里木、柴达木和莺琼盆地居多;(2)聚集效率介于 $10 \sim 100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 的气田为中效气田,我国有 36 个大中型气田,主要分布在四川、东海、松辽、渤海湾、塔里木和吐哈等盆地中,以四川盆地最多;(3)聚集效率小于 $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 的气田为低效气田,我国大中型气田存在 7 个,主要分布在鄂尔多斯盆地和四川盆地.

3 我国不同盆地类型高效大中型气田形成的主控因素

由表 1 中可以看出,我国 60 余个大中型气田能成为高效大中型气田的只有 19 个,而且分布于不同类型盆地中.为了解决此问题本文将我国不同类型 60 余个大中型气田天然气聚集效率与各种成藏条件进行了叠合分析,从中得到我国不同类型高效大中型气田形成主要受以下因素的控制.

表 1 我国大中型气田天然气聚集效率及其主控因素特征

Table 1 Characteristics of gas accumulation efficiency and its main controlling factors of big and middle gas fields in China

盆地类型	气藏	地质储量 (10^8 m^3)	含气面积 (km^2)	成藏年龄 (Ma)	天然气聚集效率 ($10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$)	成藏时期	生气强度($10^6 \text{ m}^3/$ $\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$)	输导速度 ($10^{-12} \text{ m/Pa} \cdot \text{s}$)	CSI (m/s)
前陆盆地	克拉 2	2 506.10	47.1	5	1 064.16	N-Q	130	0.438	1.20×10^{10}
	台南	425.30	33.8	2	629.14	Q	81.6	0.004	2.51×10^{11}
	涩北二	492.22	39.8	2	618.37	Q	81.6	0.001	1.39×10^{11}
	涩北一	422.89	38.9	2	543.56	Q	81.6	0.001	2.17×10^{11}
	柯克亚	292.89	27.5	3	355.02	E-N	13.27	5.560	1.69×10^{10}
	迪那 2				307.66	N-Q	120	0.035	2.87×10^{10}
	台吉乃尔	310.69	61.0	2	254.66	Q	80	0.001	1.54×10^{11}
	吐孜洛克				153.66	E-N		1.320	
	呼图壁	126.12	15.2	23	36.08			0.468	1.48×10^{10}
	中坝	186.30	10.0	53.9	34.56	E-N	22.8	0.013	3.43×10^9
	新场	512.28	57.23	23	43.48	E-N	60	1.430	
	南八仙	124.39	15.1	39.2	21.01	Q		0.001	1.78×10^9
	丘东	112.60	16.6	39	17.39	E	20.31	0.122	
	平落坝	165.35	55.9	24.3	12.17	E-N	22.8	0.002	4.17×10^{10}
依南 2	1 635.24	71.0	11.9	193.54	E-N	100	0.076	1.36×10^{10}	
克拉通盆地	英买 7 号	295.74	40.4	4	183.01	E-N	19.12	424	8.71×10^9
	羊塔克	249.07	17.3	4	359.93	E	19.12	457	1.27×10^{10}
	牙哈	376.45	57.8	5	130.26	E-N	60	6.750	6.93×10^9
	雅克拉	196.28	28.0	4	175.25	E-N	42.5	4.860	4.36×10^9
	和田河	616.94	143.4	5	86.04	E-N		1.550	1.50×10^{10}
	吉拉克	127.05	52.5	4	60.5	E-N	42.5	8.410	8.93×10^9
	卧龙河	380.32	29.3	23	56.47	E-N	65—80	0.001	2.91×10^9
	渡口河	271.65	31.9	18.4	46.28	E-N	78.5	0.119	3.82×10^9
	罗家寨				32.85	E-N			
	胡家坝				24.58	E-N			
	沙坪场	397.71	70.6	23	24.49	E-N	78.5	0.002	
	铁山	101.28	18.1	23	24.33	E-N	78.5	0.004	
	八角场				23.35	E-N		0.001	
	西河口				22.46	N-Q			
	温泉井				19.64	E-N			
	茅桥	178.24	46.5	19.8	19.36	N	30—40		
	双家坝	101.70	23.7	23	18.66	E-N	110	0.047	3.59×10^9
	冯家湾				186.6	E-N			
	柳泉				18.27	N			
	龙门	183.99	45.1	23	17.74	E-N	78.5	0.002	
	五百梯	587.11	151.5	23	16.85	E-N	115	0.006	4.28×10^9
	高峰场	115.68	34.8	23	14.45	E-N	50	0.124	1.86×10^{10}
	大池干井	257.34	78.5	23	14.25	E-N	75—110	0.001	1.46×10^9
福成寨	101.74	39.0	23	11.34	E-N	78.5	0.001	5.73×10^{10}	
磨溪	375.72	188.3	23	8.68	E-N	40	0.002	4.90×10^9	
威远	408.61	216.0	23	8.22	E-N	70	0.250	2.74×10^9	
苏里格	2 204.75	1 733.0	55	2.31	J-K	24—28	0.001	2.28×10^9	
榆林	737.90	478.0	55	1.82	J-K	25	0.001	5.99×10^9	
长东	358.48	4 319.0	55	1.36	J-K	24—28	0.001	1.77×10^9	
靖边	2 140.69	28.0	55	1.01	J-K	24—28	0.001	2.68×10^9	
裂谷盆地	徐深 1	315.00	43.1	19	38.47	K-E	50	0.001	1.46×10^{10}
	平湖	170.51	12.1	23.3	60.48	N-Q		0.002	8.75×10^9
	东方 1—1	996.80	287.7	3.3	104.99	N		0.003	1.36×10^{11}
	兴隆台	119.50	24.4	19.8	24.74	N	33	2.300	4.69×10^{10}
	春晓	330.43	19.3	23.3	73.48	N-Q		0.001	3.01×10^{10}
文中	152.32	13.2	48.8	23.65	N	32.03	0.004	1.41×10^{10}	

续表 1

盆地类型	气藏	地质储量 (10 ⁸ m ³)	含气面积 (km ²)	成藏年龄 (Ma)	天然气聚集效率 (10 ⁶ m ³ /km ² ·Ma)	成藏时期	生气强度(10 ⁸ m ³ /km ² ·Ma)	输导速度 (10 ⁻¹² m/Pa·s)	CSI (m/s)
裂谷盆地	升平	164.95	17.6	19	49.33	K-E	27	0.002	1.10×10 ¹⁰
	宝云亭	112.06	20.6	23.3	23.35	N-Q		0.001	6.01×10 ⁹
	玉东 2				179.71	E-N			
	汪家屯	123.17	54.3	15	15.12	K-E	60	0.025	6.25×10 ⁹
	板桥	179.25	55.8	25.2	12.75	N	43.7	0.096	
	锦州 20-2	135.4	14.4	5.8	162.12	N		0.494	1.55×10 ⁹
	昌德	117.08	73.8	15	10.58	K-E	17	0.001	1.01×10 ¹⁰
	乐东 15-1	178.8	36.5	1	489.86	N		0.066	1.82×10 ¹¹
	乐东 22-1	431.34	165.8	1	259.98	N-Q		0.243	3.38×10 ¹¹
	崖 13-1	884.96	45.2	5.8	337.56	E	40~60	0.032	2.31×10 ¹⁰

3.1 源岩供气能力—生气强度

源岩是气藏形成的物质基础,气源岩只有生成和排出足够量的天然气,才能发生运聚成藏;否则,其它成藏条件再好,天然气也无法运聚成藏,尤其是形成高效大中型气田。气源岩供气条件的优劣既要受到源岩本身品质(有机质丰度、类型及成熟度)的影响,又要受到源岩发育程度(厚度和分布面积)的制约,二者对气源岩供气条件的影响可集中反映在气源岩生气强度(卢双舫等,2002)的大小上。气源岩生气强度越大,供气条件越好,才能克服天然气在运移过程中的各种耗散,形成高效大中型气田的可能性越大;反之则越小。

由表 1 中可以看出,利用资料(戴金星等,1997;康竹林等,2000;李剑,2000;戴金星等,2003;柳广弟等,2005)得到的我国大中型气田源岩生气强度为 13.27~130×10⁸ m³/km²·Ma,其中塔里木盆地库车坳陷、四川盆地、柴达木盆地源岩生气强度相对较大,塔北隆起和松辽盆地源岩生气强度相对较小。

由图 1 中可以看出,我国不同盆地类型的大中型气田天然气聚集效率与源岩生气强度之间均为正相关关系,即源岩生气强度越大,天然气聚集效率越高,形成高效大中型气田的可能性越大,反之则越小。这充分说明了源岩供气强度是形成不同盆地类型的高效大中型气田的物质基础。由图 1 中可以得到,要形成高效大中型气田,源岩生气强度前陆盆地一般应大于 80×10⁸ m³/km²·Ma,克拉通盆地一般应大于 26×10⁸ m³/km²·Ma,裂谷盆地应大于 60×10⁸ m³/km²·Ma。

3.2 天然气输导能力—天然气输导速度

天然气输导能力是指在单位压差作用下单位时间内天然气通过输导层运移量的相对大小。其应受到天然气输导动力(源储剩余压差)、输导层本身渗

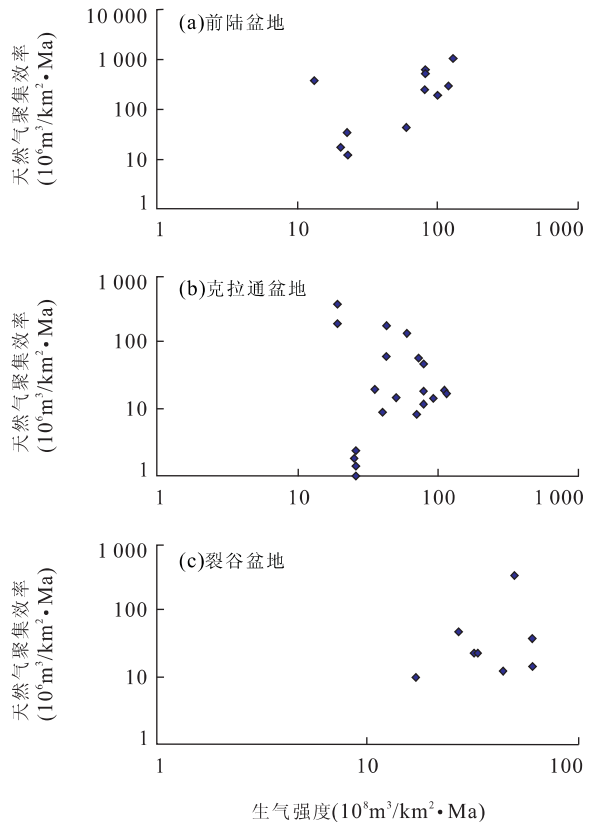


图 1 我国不同类型盆地大中型气田天然气聚集效率与生气强度之间关系

Fig. 1 Relation between gas accumulation efficiency and generation gas intensity of big and middle gas fields in the basin with different types in China

透率、倾角、天然气流动粘度和输导距离(源圈垂直距离)等多种因素的影响,可用天然气输导速度大小式(2)来表示。天然气输导速度越大,天然气运移聚集量越大,形成高效大中型气田的可能性越大;反之则越小。

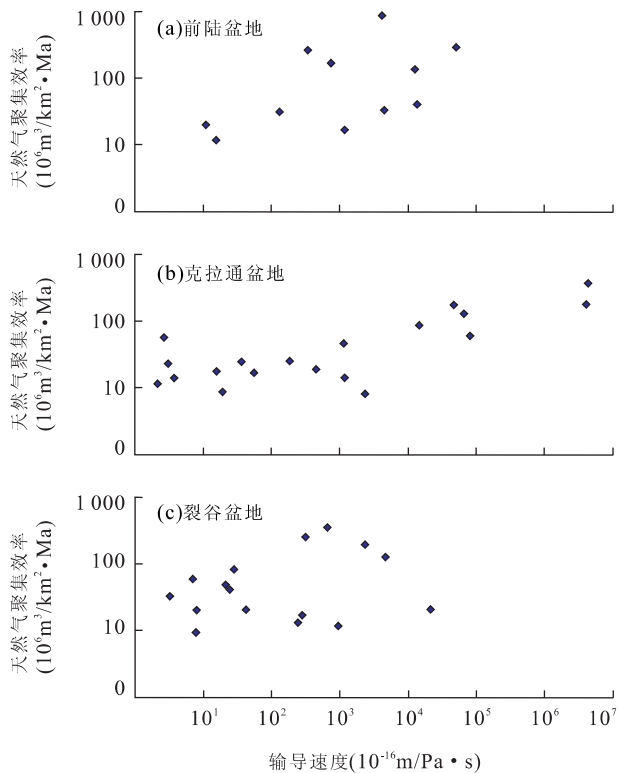


图 2 我国不同类型盆地大中型气田天然气聚集效率与输导速度之间关系

Fig. 2 Relation between gas accumulation efficiency and transporting velocity of big and middle gas fields in the basin with different types in China

$$V = \frac{k \sin \alpha}{\mu h}, \quad (2)$$

式中: V 为天然气输导速度, $\text{m/Pa} \cdot \text{s}$; k 为输导层渗透率, m^2 , 砂体可通过实验得到, 断裂可由其内的裂缝渗透率求得; α 为输导层倾角 ($^\circ$), 可通过气藏剖面直接求取; μ 为天然气流动粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), 按包茨 (1998) 资料拟合出的公式, 利用深度和压力计算求得; h 为天然气输导距离 (m), 可用源岩和圈闭之间的垂直距离表示。

由文献 (戴金星等, 1997; 康竹林等, 2000; 李剑, 2000; 戴金星等, 2003; 柳广弟等, 2005) 可以得到我国 60 余个大中型气田天然气输导速度计算的参数值 (表 1), 由式 (2) 对其天然气的输导速度进行了计算, 结果如表 1 所示。由表 1 中可以看出, 同是大中型气田, 其天然气输导速度大小相差较大。以断裂为主要输导的气藏, 天然气输导速度相对较高, 而以砂体作为主要输导通道的气藏, 天然气输导速度相对较低, 二者最大与最小相差近 6 个数量级。

由图 2 中可以看出, 我国不同盆地类型的大中

型气田天然气聚集效率与天然气输导速度之间具有较好的正相关关系, 即天然气输导速度越大, 天然气聚集效率越高, 形成高效大中型气田的可能性越大; 反之则越小。这充分反映了运移输导能力对形成不同类型盆地高效大中型气田的重要作用。由图 2 中可以得到, 要形成高效大中型气田, 天然气输导速度前陆盆地和裂谷盆地一般应大于 $5 \times 10^{-14} \text{ m/Pa} \cdot \text{s}$, 克拉通盆地一般应大于 $6 \times 10^{-12} \text{ m/Pa} \cdot \text{s}$ 。

3.3 天然气封盖保存能力

3.3.1 盖层封盖能力—CSI 一个气藏天然气聚集和保存数量的大小, 除受到圈闭容积大小的制约外, 更重要的是受到其封盖条件的影响, 而封盖条件的优劣受到盖层自身厚度和排替压力、气藏内部能量 (压力系数) 和天然气本身性质 (流动粘度) 的共同影响, 可用综合评价指标 CSI 大小来反映盖层封盖天然气能力的强弱, CSI 值越大, 表明盖层封盖天然气能力越强, 被封盖住的天然气量越大, 形成高效大中型气田的可能性越大, 反之则越小。

$$CSI = \frac{P_d H}{\mu k}, \quad (3)$$

式中: CSI 为气藏盖层封闭能力综合评价指标, m/s ; P_d 为盖层岩石排替压力, MPa ; H 为盖层厚度, m ; μ 为天然气流动粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; k 为气藏压力系数。

由文献 (戴金星等, 1997; 康竹林等, 2000; 李剑, 2000; 戴金星等, 2003; 柳广弟等, 2005) 可以得到我国 60 余个大中型气田盖层厚度、排替压力、气藏压力系数和天然气粘度值, 由式 (3) 对其盖层的综合评价指标 CSI 值进行了计算, 结果如表 1 所示。由表 1 中可以看出, 我国 60 余个大中型气田盖层的 CSI 值差异也较大, 最大的可达到 10^{11} m/s 以上, 而最小的只有 10^9 m/s , 主要是由于盖层厚度大小差异造成的。

由图 3 中可以看出, 我国不同类型盆地大中型气田聚集效率与盖层 CSI 值之间也均为正相关关系。即盖层 CSI 值越大, 天然气聚集效率越高, 形成高效大中型气田的可能性越大; 反之则越小。这充分说明盖层封盖能力应是不同类型盆地高效大中型气田形成的关键。由图 3 中可以得到, 要形成高效大中型气田, 盖层封盖能力综合评价参数 CSI 前陆盆地一般应大于 $1 \times 10^{10} \text{ m/s}$, 克拉通盆地一般应大于 $5 \times 10^9 \text{ m/s}$, 裂谷盆地一般应大于 $3 \times 10^{10} \text{ m/s}$ 。

3.3.2 气藏保存能力—成藏期的相对早晚 天然气成藏期早的且又无气源继续供给的气藏或气田,

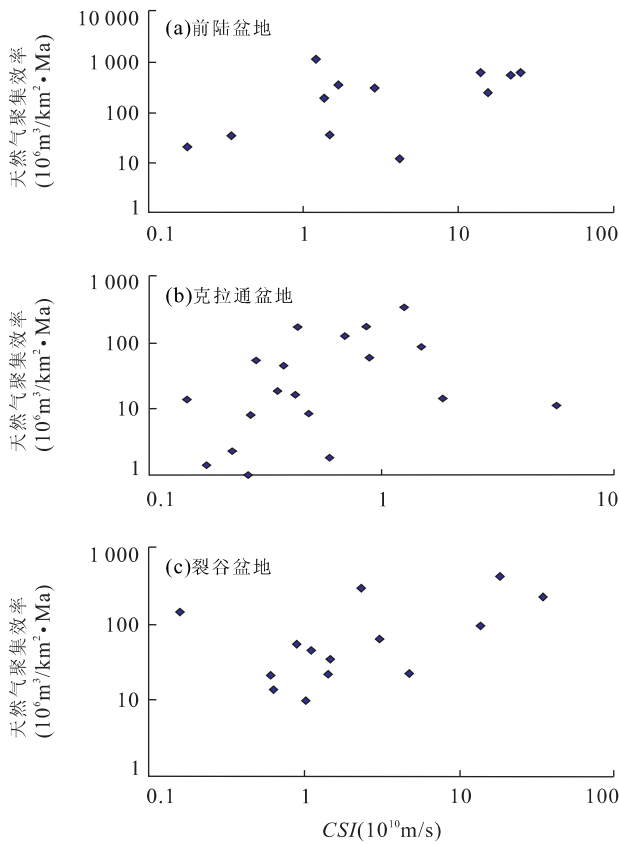


图 3 我国不同类型大中型气田天然气聚集效率与盖层 CSI 之间关系

Fig. 3 Relation between gas accumulation efficiency and CSI of caprock of big and middle gas fields in the basin with different types in China

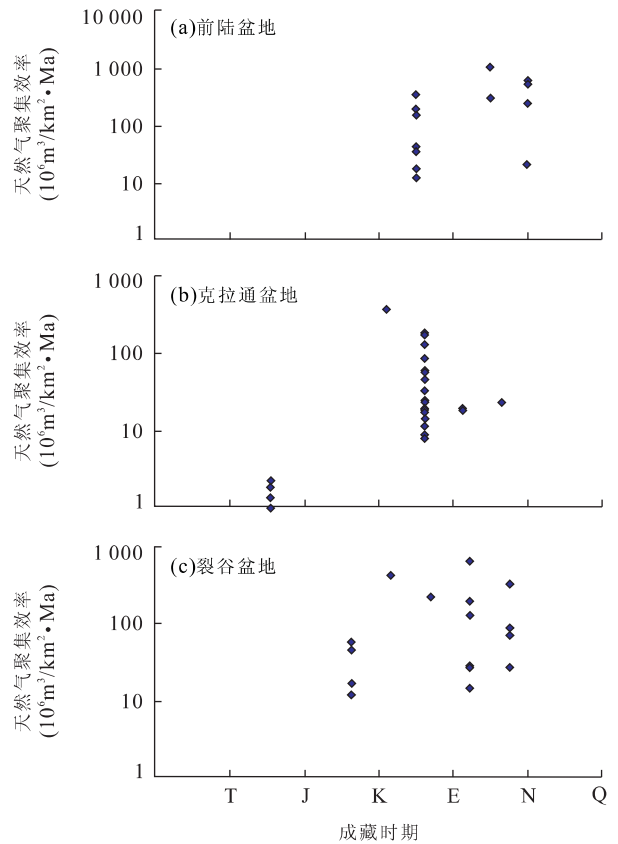


图 4 我国不同类型大中型气田天然气聚集效率与成藏时期之间关系

Fig. 4 Relation between gas accumulation efficiency and accumulation periods of big and middle gas fields in the basin with different types in China

天然气的散失作用就使得气藏难以保存下来,即使气藏原始聚集量较高,也会造成其地质储量降低,用式(1)计算得到的天然气聚集效率就降低;反之天然气聚集效率就高。

由表 1 中可以看出,我国大中型气田天然气成藏时期主要分布于侏罗纪—第四纪,但集中分布在古近纪和新近纪时期。鄂尔多斯盆地天然气成藏时期相对较早,柴达木盆地和渤海湾盆地天然气成藏时期相对较晚。

由图 4 中可以看出,我国不同类型盆地大中型气田天然气聚集效率与天然气成藏时期之间均明显成反比关系,即天然气成藏时期越晚,天然气聚集效率越高,形成高效大中型气田的可能性越大;反之则越小。这进一步说明保存能力是高效大中型气田形成的关键。由图 4 中可以得到,要形成高效大中型气田,天然气成藏期前陆盆地一般应晚于古近纪中期,而克拉通和裂谷盆地均应晚于古近纪早期。

4 结论

我国不同类型盆地高效大中型气田形成主要受源岩供气能力、输导层输导能力和天然气封盖保存能力的控制。要形成高效大中型气田,源岩生气强度前陆盆地一般应大于 $80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$,克拉通盆地一般应大于 $26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$,裂谷盆地应大于 $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 。输导层输导天然气能力前陆盆地和裂谷盆地应大于 $5 \times 10^{-14} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$,克拉通盆地一般应大于 $6 \times 10^{-12} \text{ m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。盖层封盖能力 CSI 前陆盆地一般应大于 $1 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$,克拉通盆地一般应大于 $5 \times 10^9 \text{ m}/\text{s}$,裂谷盆地一般应大于 $3 \times 10^{10} \text{ m}/\text{s}$,天然气成藏期前陆盆地一般应晚于古近纪中期,而克拉通和裂谷盆地一般应晚于古近纪早期。

References

Bao, C., 1998. Gas geology. Science Press, Beijing, 237 (in

- Chinese).
- Dai, J. X., Chen, J. F., Zhong, N. N., et al., 2003. Characteristics of large and medium gas fields and correlation with their source rocks in China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Dai, J. X., Wang, T. B., Song, Y., et al., 1997. The formation conditions and distribution laws of large and medium gas fields in China. Petroleum Industry Press, Beijing, 184—197 (in Chinese).
- Hao, S. S., Huang, Z. L., Gao, Y. B., 1991. A study of the diffusion of light hydrocarbon and the dynamic equilibrium principle in the migration and accumulation of natural gas. *Acta Petrolei Sinica*, 12(3): 17—24 (in Chinese with English abstract).
- Hao, S. S., Liu, G. D., Huang, Z. L., 1993. The dynamic balance model of migration and accumulation in evaluation of gas reserves. *Petroleum Exploration and Development*, 20(3): 16—21 (in Chinese with English abstract).
- Kang, Z. L., Fu, C. D., Cui, S. F., et al., 2000. Generality of Chinese large and medium gas fields. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Li, J., 2000. The characteristics of gas source rock and reserves abundance of important hydrocarbon-bearing basins in China. China University of Mining & Technology Press, Xuzhou (in Chinese).
- Liu, G. D., Li, J., Li, J. M., et al., 2005. The controls and the assessment method for the effectiveness of natural gas migration and accumulation process. *Natural Gas Geoscience*, 16(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. F., Fu, G., Wang, P. Y., 2002. Quantitative research on main controlling factors of gas accumulation. Petroleum Industry Press, Beijing, 1—13 (in Chinese).
- Men, X. Y., 2002. The research method for formation period of oil-gas reservoirs and its application. *Gas Exploration and Development*, 23(4): 10—17 (in Chinese with English abstract).
- Wan, X. L., Qiu, N. S., Zhang, S. W., 2004. The change process of oil-gas accumulation of lithological oil-gas reservoirs in Dongying depression. *Oil and Gas Geology*, 25(4): 449—451 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. Y., Hao, S. S., Lei, J. J., 1998. The isotopic dating of authigenic illite and timing of hydrocarbon fluid emplacement in sandstone reservoir. *Acta Petrolei Sinica*, 19(2): 40—43 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. Z., Dai, T. M., Peng, P. A., 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of diagenetic illites and its application in timing gas emplacement in gas reservoirs. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 78—82 (in Chinese with English abstract).
- Xin, R. C., Tian, C. Z., Dou, T. J., 2000. Study of oil-pool-forming chronology—A case study on Daqing oil field. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 48—53 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. Q., Jiang, Y. L., 2004. Analysis of hydrocarbon reservoir forming stages in the west of Huimin sag. *PGRE*, 11(1): 20—23 (in Chinese).
- Zhao, J. Z., 2002. Hydrocarbon inclusion analysis: Application in geochronological study of hydrocarbon accumulation. *Geology Geochemistry*, 30(2): 83—87 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 包茨, 1998. 天然气地质学. 北京: 科学出版社, 237.
- 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等, 2003. 中国大气田及其气源. 北京: 石油工业出版社.
- 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等, 1997. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律. 北京: 石油工业出版社, 184—197.
- 郝石生, 黄志龙, 高耀斌, 1991. 轻烃扩散系数研究及天然气运聚动平衡原理. 石油学报, 12(3): 17—24.
- 郝石生, 柳广弟, 黄志龙, 1993. 天然气资源评价的运聚动平衡模型. 石油勘探与开发, 20(3): 16—21.
- 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等, 2000. 中国大气田概念. 北京: 石油工业出版社.
- 李剑, 2000. 中国重点含油气盆地气源岩特征与资源丰度. 徐州: 中国矿业大学出版社.
- 柳广弟, 李剑, 李景明, 等, 2005. 天然气成藏过程有效性的主控因素与评价方法. 天然气地球科学, 16(1): 1—6.
- 卢双舫, 付广, 王朋岩, 2002. 天然气富集主控因素的定量研究. 北京: 石油工业出版社, 1—13.
- 门相勇, 2002. 油气藏形成时期研究方法及其应用. 天然气勘探与开发, 23(4): 10—17.
- 万晓龙, 邱楠生, 张善文, 2004. 东营凹陷岩性油气藏动态成藏过程. 石油与天然气地质, 25(4): 449—451.
- 王飞宇, 郝石生, 雷加锦, 1998. 砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期. 石油学报, 19(2): 40—43.
- 王龙樟, 戴樟谟, 彭平安, 2005. 自生伊利石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年技术及气藏成藏期的确定. 地球科学——中国地质大学学报, 30(1): 78—82.
- 辛仁臣, 田春志, 窦同君, 2000. 油藏成藏年代学分析. 地学前缘, 7(3): 48—53.
- 杨万芹, 蒋有录, 2004. 惠民凹陷西部油气成藏期分析. 油气地质与采收率, 11(1): 20—23.
- 赵靖舟, 2002. 油气包裹体在成藏年代学研究中的应用实例分析. 地质地球化学, 30(2): 83—87.