

文章编号: 0253-9985(2005)06-0742-04

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

吕延防, 付 广, 于 丹

(大庆石油学院, 黑龙江大庆 163318)

摘要: 大中型气田天然气封盖条件主要受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)的影响。气藏盖层封闭指标 CSI 值与天然气聚集效率为正比关系, CSI 值越大, 天然气聚集效率越高; 反之则越低。中国大中型气田聚集效率分 3 个等级: 1) 大于 $100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为高效气藏, 主要分布在塔里木、柴达木、莺琼、渤海湾和松辽盆地, 以塔里木、柴达木和莺琼盆地居多; 2) $10 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为中效气藏, 主要分布在四川、东海、松辽、渤海湾、塔里木和吐哈等盆地, 以四川盆地最多; 3) 小于 $10 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为低效气藏, 主要分布在鄂尔多斯盆地和四川盆地。中国大中型气田的形成要求其盖层的 CSI 值应大于 10^9 m/s 。然而, 对于天然气聚集效率较高的气田, 其盖层的 CSI 值还应更高。

关键词: 盖层; 封盖能力; 综合评价; 指标; 聚集效率; 大中型气田

中图分类号: TE112.25 **文献标识码:** A

Comprehensive evaluation of sealing ability of cap rock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation

L·Yanfang Fu Guang Yu Dan

(Daqing Petroleum Institute, Daqing, Heilongjiang)

Abstract Sealing ability of cap rock in large and medium gas fields mainly depends on the thickness of cap rock, displacement pressure, interior energy of gas reservoir (pressure coefficient) and gas property (flowing viscosity). Cap rock sealing index (CSI) of gas reservoir is directly proportional to gas accumulation efficiency. The accumulation efficiency of China's large and medium gas fields can be classified into three categories: (1) High efficiency gas reservoirs have accumulation efficiency of over $100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$. They are mainly distributed in Tarim, Qaidam, Yinggehai, Qiongzhou, Bohai Bay and Songliao basins, of which Tarim, Qaidam and Yinggehai, Qiongzhou basins are in the majority. (2) Moderate efficiency gas reservoirs have accumulation efficiency in the range of $10 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$. They are mainly distributed in Sichuan, East China Sea, Songliao, Bohai Bay, Tarim and Turpan-Hami basins, and most of them are in Sichuan basin. (3) Low efficiency gas reservoirs have accumulation efficiency of lower than $10 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$. They are mainly distributed in Ordos and Sichuan basins. For the formation of large and medium gas fields in China, the CSI value of cap rocks should be over 10^9 m/s . For gas fields with relatively higher accumulation efficiency, however, the CSI value of cap rocks should be raised even higher.

Key words cap rock; sealing ability; comprehensive evaluation; index; accumulation efficiency; large and medium gas fields

天然气勘探实践表明, 盖层作为天然气藏的重要组成部分, 不仅控制着天然气在空间上的分布, 而且控制着天然气富集的数量。一个气藏, 尤其是大中型

气藏的封盖条件的优劣除了要受到盖层本身条件(厚度和排替压力)的影响外, 还要受到气藏本身能量(剩余压力, 可用压力系数大小表示)和天然气本身

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209104)

第一作者简介: 吕延防, 男, 48岁, 教授(博士生导师), 油气保存条件及油气运移

收稿日期: 2005-09-27

性质(流动粘度)的影响。有关盖层封气机理及其对成藏的作用,许多学者^[1~8]都曾对此做过大量的研究和探讨。然而,以往的盖层评价方法^[2~3],并没有考虑气藏和天然气本身的特征,这无疑影响了盖层封盖能力评价的准确性。因此,开展大中型气田天然气封盖条件的综合评价,将对研究中国大中型气田的形成所需要的封盖条件及其对成藏作用均具有重要意义。

1 影响因素

1.1 盖层厚度

厚度是影响盖层本身封盖天然气能力的主要参数之一,它不仅影响着盖层空间展布范围的大小,而且还在一定程度上影响着盖层封闭的质量^[9]。盖层厚度越大,其空间展布面积越大,封闭天然气能力越强,越有利于天然气的聚集和保存;相反,盖层厚度越小,其空间展布面积越小,封闭天然气能力越弱,越不利于天然气的聚集和保存。由中国 40 余个大中型气田盖层特征可以看出(表 1),不论盖层岩性如何,其厚度大小不

等,最大的可达到 1 600 m,如莺歌海盆地的东方 1-1、乐东 15-1 和乐东 22-13 气田。最小的只有 20 m,如鄂尔多斯盆地的苏里格和长东气田。从盆地来看,莺歌海盆地和柴达木盆地盖层厚度相对较大,而鄂尔多斯盆地、四川盆地的盖层厚度相对较小。从总体上看,随着盖层厚度的增大,中国大中型气田储量丰度是逐渐增大的(图 1)。这表明厚度是影响中国大中型气田封盖条件优劣的重要因素。

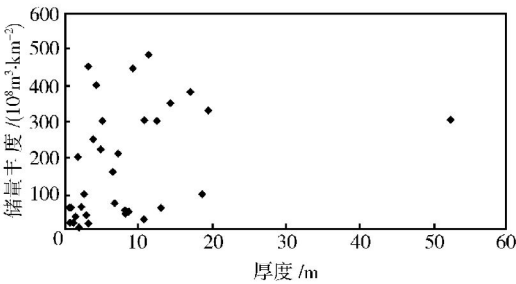


图 1 中国大中型气田储量丰度与盖层厚度的关系
Fig.1 Abundance of reserves vs thicknesses of cap rocks in China's large and medium gas fields

表 1 中国大中型气田天然气聚集效率及其盖层 CSI 值特征
Table 1 Characteristics of gas accumulation efficiencies and CSI values of cap rocks in China's large and medium gas fields

气藏	压力系数	排替压力 MPa	厚度 / m	天然气粘度 / (Pa·s)	CSI / (m ² ·s ⁻¹)	天然气聚集效率 / (10 ⁶ m ³ ·km ⁻² ·Ma ⁻¹)	气藏	压力系数	排替压力 MPa	厚度 / m	天然气粘度 / (Pa·s)	CSI / (m ² ·s ⁻¹)	天然气聚集效率 / (10 ⁶ m ³ ·km ⁻² ·Ma ⁻¹)
汪家屯	0.98	8.70	65	0.09	6.25 × 10 ⁹	15.12	大池干井	1.37	21.5	15	0.16	1.46 × 10 ⁹	14.25
昌德	1.07	8.70	200	0.16	1.01 × 10 ¹⁰	157.39	高峰场	1.37	21.5	350	0.30	1.86 × 10 ¹⁰	14.45
兴隆台	0.94	17.50	225	0.03	4.70 × 10 ¹⁰	24.74	双家坝	1.33	21.5	60	0.27	3.59 × 10 ⁹	18.66
板桥	1.30	17.50	450	0.15	4.17 × 10 ¹⁰	12.75	五百梯	1.49	27.0	60	0.25	4.28 × 10 ⁹	16.85
苏桥	1.30	17.50	250	0.18	1.89 × 10 ¹⁰	19.36	渡口河	1.07	19.0	47	0.22	3.19 × 10 ⁹	46.28
文中	1.30	11.00	175	0.13	1.41 × 10 ¹⁰	23.65	威远	1.03	21.0	200	0.15	2.74 × 10 ⁹	8.22
榆林	0.96	13.00	60	0.14	5.99 × 10 ⁹	1.82	磨溪	1.25	21.0	60	0.16	5.00 × 10 ⁹	8.68
呼图壁	0.96	8.50	280	0.17	1.48 × 10 ¹⁰	36.08	平落坝	1.15	15.0	200	0.20	1.29 × 10 ⁹	12.17
吉拉克	1.09	11.00	210	0.24	8.93 × 10 ⁹	60.50	中坝	1.07	11.0	500	0.16	3.43 × 10 ⁹	24.56
牙哈	1.38	11.00	160	0.18	6.93 × 10 ⁹	130.26	锦州 20-2	1.60	11.0	25	0.11	1.55 × 10 ⁹	162.16
雅克拉	1.10	13.50	100	0.28	4.36 × 10 ⁹	175.25	崖 13-1	1.05	13.5	330	0.18	2.30 × 10 ¹⁰	337.56
英买 7	1.09	11.00	210	0.24	8.71 × 10 ⁹	183.01	东方 1-1	1.08	13.5	1 600	0.15	1.36 × 10 ¹¹	104.99
羊塔克	1.11	11.00	350	0.27	1.27 × 10 ¹⁰	359.93	乐东 22-1	1.63	13.5	1 600	0.06	3.38 × 10 ¹¹	259.98
克拉 2	2.25	28.00	300	0.35	1.20 × 10 ¹⁰	1 064.16	乐东 15-1	1.46	13.5	1 600	0.08	1.82 × 10 ¹¹	489.86
依南 2	1.75	28.00	300	0.35	1.36 × 10 ¹⁰	193.54	平湖	1.58	11.0	170	0.14	8.75 × 10 ⁹	60.48
和田河	1.08	17.00	400	0.04	1.50 × 10 ¹⁰	86.04	宝云亭	1.58	11.0	150	0.17	6.01 × 10 ⁹	23.35
柯克亚	1.04	11.00	26	0.16	1.69 × 10 ⁹	355.02	春晓	1.00	11.0	380	0.14	3.01 × 10 ¹⁰	73.48
台南	1.14	23.00	1 012	0.08	2.51 × 10 ¹¹	629.14	苏里格	0.93	14.4	20	0.14	2.28 × 10 ⁹	2.31
涩北一	1.19	23.00	792	0.07	2.17 × 10 ¹¹	543.56	靖边	0.94	14.0	28	0.15	2.68 × 10 ⁹	1.01
涩北二	1.22	23.00	481	0.07	1.39 × 10 ¹¹	618.37	长东	0.93	11.2	20	0.14	1.77 × 10 ⁹	1.36
台吉乃尔	1.09	23.00	300	0.04	1.54 × 10 ¹¹	254.66	徐深 1	0.98	8.7	275	0.16	1.47 × 10 ¹⁰	38.47
南八仙	1.63	12.70	445	0.20	1.78 × 10 ⁹	21.01	升平	0.98	8.7	200	0.16	1.10 × 10 ¹⁰	49.33
卧龙河	1.22	16.00	60	0.27	2.91 × 10 ⁹	56.47	迪那 2	1.68	28.0	800	0.47	2.87 × 10 ¹⁰	307.66
福成寨	1.26	12.00	100	0.02	5.73 × 10 ¹⁰	11.34							

1.2 盖层排替压力

排替压力是影响盖层本身封盖天然气能力的最根本参数^[2],排替压力越大,盖层封闭天然气能力越强,越有利于天然气的聚集和保存;相反,排替压力越低,盖层封闭天然气的能力越弱,越不利于天然气的聚集和保存。中国大中型气田的盖层均具有较高的排替压力,最小为 8.7 MPa 如松辽盆地的汪家屯、昌德、升平和徐深 1 井气藏;最高可达到 28 MPa 如塔里木盆地库车坳陷的克拉 2 气藏和迪那 2 气藏(表 1)。但总的来看,随着盖层排替压力的增大,中国大中型气田储量丰度是逐渐增大的(图 2),这表明排替压力是影响中国大中型气藏封盖条件优劣的重要因素。

1.3 压力系数

天然气勘探实践表明,气藏本身能量越高,对其盖层封闭能力要求越高;反之则越低。由于天然气本身可压缩性及浮力作用,气藏内部往往具有较正常压实地层异常高的地层孔隙流体压力,即压力系数大于 1。气藏中的异常高压越大,其压力系数越高,表明越不利于天然气的聚集和保存;相反,气藏中异常高压越小,其压力系数越接近 1,表明越有利于天然气的聚集和保存。由此看出,气藏压力系数大小可以反映其内部能量相对高低,是影响盖层封盖天然气能力的外界因素之一。由表 1 可以看出,中国大中型气田压力系数变化较大,最大的可达到 2.1,如塔里木盆地库车坳陷的克拉 2 气田。最小仅 0.93 如鄂尔多斯苏里格和长东致密气田。从盆地来看,四川盆地,塔里木盆地,莺歌海盆地气田压力系数相对较高。而鄂尔多斯盆地、松辽盆地气藏压力系数相对较低。

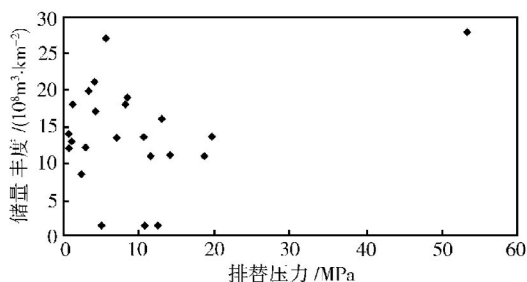


图 2 中国大中型气田储量丰度与盖层排替压力的关系

Fig. 2 Abundance of reserves vs displacement pressures of cap rocks in China's large and medium gas fields

1.4 天然气流动粘度

天然气流动粘度是影响气藏封盖条件优劣的又一因素,天然气流动粘度越大,越不易流动,越易被盖层封盖,天然气聚集效率越高;相反,天然气粘度越小,越不易被盖层封盖,天然气聚集效率越低。由表 1 可以看出,中国大中型气田天然气流动粘度变化也相对较大(表 1),最大的可达到 0.353 0 Pa·s 如塔里木盆地库车坳陷的依南 2 气田;最小只有 0.041 3 Pa·s 如柴达木盆地的台吉乃尔气藏。

2 综合评价指标

天然气气藏封盖条件的优劣主要受盖层自身厚度、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。因此,本文用气藏盖层封闭指标(Caprock Seal Index)来综合反映 4 个因素对盖层封盖能力的综合作用,即

$$CSI = \frac{P_d H}{\mu_a} \quad (1)$$

式中 CSI 为气藏盖层封闭指标, 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, Pa·s a 为气藏压力系数。

由式(1)中可以看出, CSI 值与盖层自身厚度和排替压力成正比,与气藏内部能量(压力系数)和天然气本身性质(流动粘度)成反比,它既可以反映盖层本身特征,又可以反映气藏内部能量和天然气性质,是反映盖层封闭天然气能力的综合评价指标。 CSI 值越大,表明盖层封盖天然气的能力越强;反之则越弱。

根据中国 40 余个大中型气田盖层厚度、排替压力及气藏压力系数和天然气粘度资料^[10~14]对 CSI 值进行了计算(表 1)。中国大中型气田 CSI 值变化较大,最大值超过 $10^{11} m/s$ 如柴达木盆地的台南、涩北一、涩北二气藏,莺歌海盆地的东方 1-1、乐东 15-1、乐东 22-1 气藏;最小为 $10^9 m/s$ 如塔里木、松辽、四川、鄂尔多斯盆地一些大中型气田。从盆地来看,莺歌海盆地和柴达木盆地大中型气田盖层的 CSI 值相对较大,而鄂尔多斯盆地、四川盆地部分气田与松辽盆地、塔里木盆地部分大中型气田盖层的 CSI 值相对较小。

3 封盖条件对聚集效率的贡献

3.1 天然气聚集效率

一个气藏形成的快慢与规模的大小,应受到

气源供给的充足程度和自身圈闭容积大小的制约, 可用天然气净聚集速率 (天然气聚集效率) 来表示, 即

$$q = \frac{Q}{t \times S} \quad (2)$$

式中 q 为天然气聚集速率, $10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$; Q 为天然气藏的地质储量 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 2 看出, 一个气藏的地质储量越大, 含气面积和聚集时间越小, 天然气聚集效率越高, 形成的天然气储量丰度越大, 形成大中型气田的可能性就越大; 反之则越小。

由表 1 看出, 中国 40 余个大中型气田天然气聚集效率高低明显不同, 最高的是克拉 2 气田可达到 $1064.16 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$; 最小的靖边气田, 只有 $1.01 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$, 两者相差 1000 余倍, 表明同是大中型气田, 但天然气聚集效率存在明显的差别。根据中国大中型气田天然气聚集效率可以将其划分为 3 个等级: 1) 聚集效率大于 $100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为高效气藏, 有 20 个, 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 $10 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为中效气藏, 有 36 个, 主要分布在四川、东海、松辽、渤海湾、塔里木和吐哈等盆地, 以四川盆地最多; 3) 聚集效率小于 $10 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{Ma})$ 的气藏为低效气藏, 有 7 个, 主要分布在鄂尔多斯盆地和四川盆地。

3.2 CSI 与天然气聚集效率的关系

根据中国 40 余个大中型气田的盖层 CSI 值与其对应的天然气聚集效率资料, 得到两者之间的关系 (图 3)。可以看出, 中国大中型气田天然气聚集效率与其盖层 CSI 值之间成正比关系, 即随着盖层 CSI 值的逐渐增大, 天然气的聚集效率总体上是逐渐增大; 反之则逐渐减小。这一认识是符合天然气富集规律的。但两者之间的关系并非严格的正比线性关系, 表明盖层并非为天然气聚集效率的唯一影响因素, 它还将受到源岩供气强度、输导条件、聚集时间相对早晚等多种因素的影响。

由图 3 中还可以看出, 无论是高效和中效大中型气田, 还是低效大中型气田的形成, 其盖层的 CSI 值均应大于 10^9 m/s 且随着天然气聚集效率

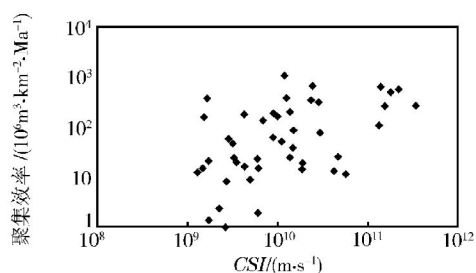


图 3 中国大中型气田天然气聚集效率与盖层 CSI 值关系图

Fig. 3 Gas accumulation efficiencies vs CSI values of cap rocks in China's large and medium gas fields

的增大, 所需要的盖层 CSI 值也应是逐渐增大的。这表明盖层条件越好, 越有利于高效大中型气田的形成; 反之则不利于高效大中型气田的形成。

参 考 文 献

- 1 付广, 陈章明, 姜振学. 盖层封堵能力评价方法及其应用 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 46~50
Fu Guang Chen Zhangming Jiang Zhenxue Evaluation of the sealing ability of caprock and its application [J]. Petroleum Exploration & Development 1995, 22(2): 36~40
- 2 付广, 姜振学, 庞雄奇. 盖层烃浓度封闭能力评价方法探讨 [J]. 石油学报, 1997, 18(1): 147~151
Fu Guang Jiang Zhenxue Pang Xiongqi An estimation of sealing ability of hydrocarbon concentration of cap rocks [J]. Acta Petrolei Sinica 1997, 18(1): 147~151
- 3 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
L. Yanfang Fu Guang Gao Daling et al Research on seal of oil gas reservoirs [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1996 4~30
- 4 郝石生, 陈章明, 高耀斌, 等. 天然气藏的形成与保存 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995 91~110
Hao Shisheng Chen Zhangming Gao Yaobin et al Formation and preservation of gas reservoirs [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1995 91~110
- 5 蒋有录. 油气藏盖层厚度及所封盖的烃柱高度关系问题探讨 [J]. 天然气工业, 1998, 18(2): 17~19
Jiang Youlu A discussion on the relation between the cap rock thickness of oil and gas reservoir and its hydrocarbon column height [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(2): 17~19
- 6 付广, 薛永超. 盖层与源岩的时空配置关系对油气聚集成藏的控制作用 [J]. 矿物岩石, 2001, 21(2): 56~61
Fu Guang Xue Yongchao Controlling effect of match relation between caprock and source rock in time and space on formation of oil or gas pools [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(2): 56~61

(下转第 753 页)

- 10 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 336~340
Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of Upper Palaeozoic in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(4): 336~340
- 11 杜楹华, 钱凯, 张守鹏. 中国天然气储层的岩石、古地理类型与勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 140~143
Du Yunhua, Qian Kai, Zhang Shoupeng. Exploration orientation and rock palaeogeographic types of China's gas reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 140~143
- 12 裘怿楠, 薛叔浩, 应凤祥, 等. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 149~217
Qiu Yinan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang et al. Petroleum reservoirs of continental facies in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 149~217
- 13 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 55~104
Wu Shenghe, Xiong Qihua. Petroleum reservoir geology [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1998. 55~104
- 14 刘孟慧, 赵澄林. 碎屑岩储层成岩演化模式 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1993. 1~79
Liu Menghui, Zhao Chenglin. Diagenetic model of elastic reservoirs [M]. Dongying Shandong Petroleum University Press, 1993. 1~79
- 15 张厚福, 方朝亮, 张枝焕, 等. 石油地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 314~318
Zhang Houfu, Fang Zhaoliang, Zhang Zhihuan et al. Petroleum geology [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1999. 314~318
- 16 易荣龙, 黄泽光, 刘树根. 中国中西部压扭性盆地油气地质特征 [A]. 见: 李丕龙, 编. 压扭性盆地勘探理论及方法文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 71~95
Yi Ronglong, Huang Zeguang, Liu Shugen. Petroleum geologic features of compressive basins in Central West China [A]. In: Li Pílong ed. Proceedings of exploration theory and methodology of compressive basins [C]. Beijing Petroleum Industry Press, 2001. 71~95
- 17 吴奇之, 王同和. 中国油气盆地构造演化与油气聚集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 73~151
Wu Qizhi, Wang Tonghe. Tectonic evolution and petroleum accumulation of petroleum basins in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 73~151
- 18 刘成林, 李景明. 川西白马庙地区上侏罗统蓬莱镇组天然气藏研究 [J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 10~13
Liu Chenglin, Li Jingming. Research on natural gas reservoirs in Upper Jurassic Penglaizhen Formation of Baianiao region, West Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 10~13
- 19 吕明. 莺-琼盆地含气区储层特征 [J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 20~24
L. Ming. Reservoir characteristics of gas-bearing areas in Yingqiong basin [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 20~24

(编辑 李 军)

(上接第 745 页)

- 7 周兴熙. 源-盖共控论述要 [J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 4~7
Zhou Xingxi [J]. Essentials about hydrocarbon distribution controlled by source and seal. Petroleum Exploration & Development, 1997, 24(6): 4~7
- 8 付广, 张发强, 吕延防. 厚度在盖层封闭油气中的作用 [J]. 天然气地球科学, 1998, 9(6): 20~25
Fu Guang, Zhang Faqiang, Lyu Yanfang. Role of thickness in sealing oil-gas [J]. Natural Gas Geoscience, 1998, 9(6): 20~25
- 9 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
Dai Jinxing, Chen Jianfa, Zhong Ningning et al. Large gas fields and their gas sources in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2003
- 10 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大气田概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
Kang Zhulin, Fu Chengde, Cui Shufen et al. Introduction to large gas fields in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2000
- 11 李景明, 魏国齐, 曹宪斌. 中国大中型气田富集区带 [M]. 北京: 地质出版社, 2000
Li Jingming, Wei Guoqi, Cao Xianbin. Accumulation zones of large and medium gas fields in China [M]. Beijing Geological Publishing House, 2000
- 12 游秀玲. 天然气盖层评价方法探讨 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 261~275
You Xiuling. Study on assessment method of caprocks in natural gas pools [J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(3): 261~275
- 13 胡光灿, 谢姚祥. 中国四川东部高陡构造石炭系气田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 47~135
Hu Guangcan, Xie Yaoliang. Gas fields of Carboniferous system in high and steep structures in the east of Sichuan, China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 47~135
- 14 郑朝阳, 张文达, 朱盘良. 盖层类型及其对油气运移聚集的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 96~101
Zheng Zhaoyang, Zhang Wenda, Zhu Panliang. Cover types and their control over hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 96~101
- 15 邓祖佑, 王少昌, 姜正龙, 等. 天然气封盖层的突破压力 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 136~138
Deng Zuyou, Wang Shaochang, Jiang Zhenglong et al. Breaking pressure of gas cap rocks [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 136~138

(编辑 高 岩)