

文章编号: 1000-0550(2006)05-0763-06

西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率评价^①

付 广 孙永河 吕延防 黄劲松

(大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

摘 要 为了研究砂体输导层输导天然气效率,在砂体输导层输导天然气能力影响因素分析的基础上,建立了一个砂体输导层输导天然气能力评价参数,利用此评价参数对我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田砂体输导层输导天然气能力进行了研究。通过我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田天然气聚集效率与砂体输导层输导天然气能力评价参数之间的关系研究得到,高效、中效和低效砂体输导层输导天然气能力评价参数分别为大于 0.25、0.25~0.03 和小于 0.03。根据西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导特征,对其砂体输导层输导天然气效率进行了研究,得到西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率相对较高,仅在富拉尔基以西有限地区为中、低效砂体输导层输导天然气能力区,其余广大地区皆为高效砂体输导层输导天然气能力区。目前西斜坡区萨二、三油层已发现的天然气藏皆分布在高效砂体输导层输导天然气能力区内,表明齐家—古龙凹陷生成排出的天然气向西斜坡区运移具备良好的输导条件。

关键词 西斜坡区 萨二、三油层 砂体 输导效率 天然气 评价参数

第一作者简介 付广 男 1962 年出生 教授 油气藏形成与保存条件

中图分类号 TE122 **文献标识码** A

西斜坡区位于松辽盆地北部,构造上包括泰康隆起带、富裕构造带和西部超覆带 3 个构造单元,面积约 7 500 km²,是松辽盆地北部中浅层油气勘探的重点地区。截至到目前为止,西斜坡区已钻探井 272 口,油气流井 48 口,已找到了江 59、他拉红、白音诺勒、二站、阿拉新和平洋等气田,充分展示了西斜坡区中部含油气组合的含气远景。

气源对比结果表明,西斜坡区天然气主要来源于齐家—古龙凹陷青山口组和嫩江组一段源岩。齐家—古龙凹陷青山口组和嫩江组一段源岩生成排出的天然气,须经长距离的侧向运移方可到达西斜坡区聚集成藏。由此看出,作为主力产气层的萨二、三油层能否将齐家—古龙凹陷生成排出的天然气输导运移至西斜坡区,是西斜坡区天然气聚集成藏的关键。关于输导层输导天然气能力的研究,许多学者^[1~15]都曾经做过大量尝试和探讨,但主要是侧重于油气运移输导通道构成及其特征的研究,而对油气输导通道输导效率评价的研究涉及甚少,致使其仍为油气运移研究的薄弱环节。因此,开展西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率评价研究,对于研究其天然气运聚成藏机制及分布规律,完善油气运移理论均具有重要意义。

1 天然气输导通道构成

由钻井揭示表明,西斜坡区萨二、三油层油气输导运移的通道主要有以下 3 种类型。

1.1 连通砂体

西斜坡区沉积主要受三大沉积体系控制,即英台沉积体系、齐齐哈尔沉积体系以及北部沉积体系,萨二、三油层沉积环境以河流相、滨浅湖相以及三角洲相为主,条带状的河道砂岩、滨浅湖相及三角洲前缘相的透镜状砂岩和席状砂岩构成了西斜坡区萨二、三油层的主要储集体。但这一沉积特征就决定了虽然萨二、三油层砂地比发育,可达到 65%,但砂岩单层厚度小,横向分布不稳定。砂体在横向上除少数连续分布外,主要是通过相互叠置,保持在空间上连续分布的。

1.2 不整合面

由钻井资料可知,西斜坡区萨二、三油层(因缺失姚家组一段地层)底面与高台子油层顶面之间存在着一个区域性的不整合面。由文献^[16]可知,不整合面上下应存在着两个输导通道,即不整合面之上的底砾岩输导通道和不整合面之下风化—卸载裂缝输导通道。然而,西斜坡区萨二、三油层底面不整合之上的底砾岩不发育,主要以细砂和粉砂岩沉积为主,而且不整合面

^①国家 973 重大基础研究项目(2001CB209104)资助。

收稿日期: 2005-12-30 收修日期: 2006-03-06

之下裂缝也不发育,由此看出,不整合面本身不是萨二、三油层天然气向西斜坡区侧向运移的主要通道。

1.3 断层

西斜坡区断层主要为正断层,走向以 NNW 和 NNE 向为主,断层规模小,一般断距为 10~40 m,延伸距离小。由此看出,断层也不是西斜坡区天然气长距

离侧向运移的输导通道,但其可起到沟通砂体的作用,使大面积分布、彼此叠置的砂体相连通,成为天然气长距离侧向运移的输导通道。

综合上述分析可以得到,西斜坡区萨二、三油层主要是通过断层沟通和叠置的砂体作为天然气向西斜坡区侧向运移的输导通道,如图 1 所示。

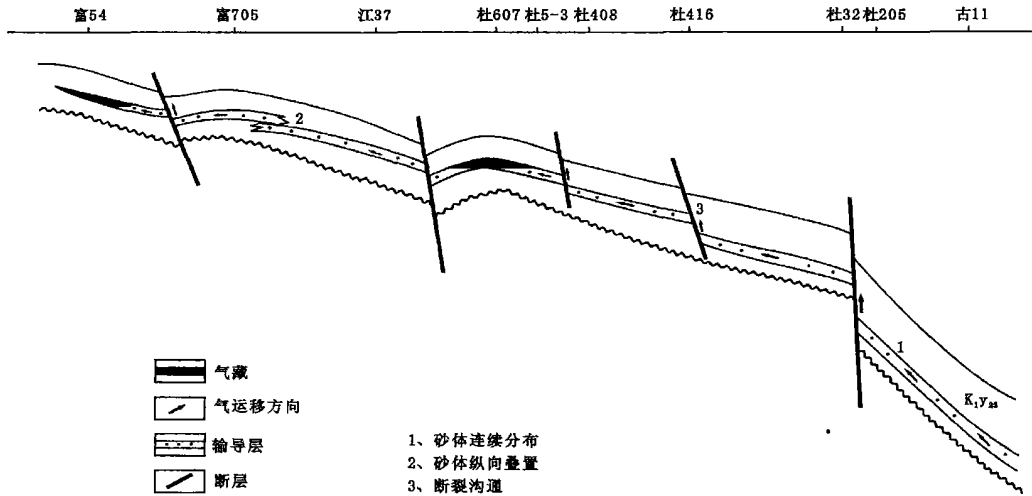


图 1 西斜坡区萨二、三油层天然气沿砂体向西斜坡区侧向运移输导通道分布模式

Fig 1 The distribution model of transportation pathway of gas migration through sandbody of S₂₊₃ oil layer in the west slope region

2 砂体输导层输导天然气能力评价参数及其物理意义

砂体输导层输导天然气能力的强弱除与天然气本身能量大小有关外,主要取决于砂体输导层自身渗滤输导天然气能力,砂体输导层自身渗滤输导能力越强,砂体输导层输导天然气能力越强;反之则越弱。砂体输导层自身渗滤输导能力除受其砂体发育程度影响外,更重要的是受砂体渗透率大小这一微观因素的影响,因此为了描述砂体输导层输导天然气能力,本文用单位截面积内砂体发育程度(砂体厚度占地层厚度的比值)和其渗透率大小的乘积(式 1)来反映某一评价单元内砂体输导层输导天然气能力的强弱。

$$R_i = \frac{nK_i}{s_j \tan \theta_i} \quad (1)$$

式中: R_i —第 i 个评价单元内砂体输导层输导天然气能力评价参数;

K_i —第 i 个评价单元内砂体的渗透率, m^2 ;

θ_i —第 i 个评价单元内砂体倾角, $^\circ$;

n_i —第 i 个评价单元内砂体厚度占地层厚度的比值;

s_j —第 j 个评价单元面积。

由式 1 中可以看出,某个评价单元内砂体输导层渗透率越大,地层中砂体越发育,砂体输导层输导天然气能力越强, R_i 值越大;反之 R_i 值则越小。由此看出 R 大小可以综合定量地反映某个评价单元内砂体输导层输导天然气能力的强弱。

3 砂体输导层输导天然气效率下限确定

3.1 天然气聚集效率及我国以砂体为主要输导通道的大中型气田特征

一个气藏形成的快慢与规模的大小,应受到其气源供给的充足程度和自身圈闭容积大小的制约,可用气藏单位含气面积的天然气净聚集速率,即天然气聚集效率(式 2)来表示。

$$q = \frac{Q}{st} \quad (2)$$

式中: q —天然气聚集效率, $10^6 m^3 / km^2 \cdot Ma$

Q —天然气藏的地质储量, $10^8 m^3$;

S —含气面积, km^2 ;

t —天然气藏形成时间, Ma

由式 2 中可以看出,一个气藏的地质储量越大,

表 1 我国部分以砂体为输导通道的大中型气田天然气聚集效率与砂体输导天然气能力评价参数关系

Table 1 Relationship between gas accumulation efficiency and evaluation parameter of gas transportation ability through sandbody of large and medium gas fields in China

气田	平均渗透率 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	输导层厚度 $h\text{m}$	砂体总厚度 $l\text{m}$	砂体倾角 β°	砂体输导能力 评价参数	聚集效率 ($10^6 \text{m}^3 / \text{km}^2 \cdot \text{Ma}$)	盆地
台南	322.10	752.3	193.1	1.5	3.16	629.14	柴达木盆地
涩北 1 号	105.10	1000	206.3	1.7	0.73010	543.56	柴达木盆地
涩北 2 号	97.10	905.6	176.8	1.2	0.90410	618.37	柴达木盆地
台吉乃尔	82.110	284	67.6	2.5	0.44810	254.66	柴达木盆地
南八仙	115.10	261	28.1	9.1	7.7310×10^{-2}	21.01	柴达木盆地
地板桥	0.9910	243	30.2	7.5	9.3510×10^{-2}	12.75	渤海湾盆地
地昌德(芳深 1)	15.10	125	27.7	3.5	5.5410×10^{-2}	10.58	松辽盆地
苏里格	5.510	360	126	7.5	1.4610×10^{-2}	2.31	鄂尔多斯盆地
榆林	410	300	92	10	6.9610×10^{-3}	1.82	鄂尔多斯盆地
长东	1.1510	284	81	2.4	7.1810×10^{-4}	1.36	鄂尔多斯盆地
靖边	2.6210	264	86	5	9.7510×10^{-3}	1.01	鄂尔多斯盆地

含气面积和聚集时间相对越小,其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。

由文献^[17~22]资料利用式 2 对我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田的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 11 个以砂体为主要输导通道的大中型的天然气聚集效率的高低明显不同,最高的是台南气田,天然气聚集效率可达到 $629.14 \times 10^6 \text{m}^3 / \text{km}^2 \cdot \text{Ma}$ 而最小的靖边气田,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 600 余倍,这表明同是以砂体为主要输导通道的大中型气田其天然气聚集效率存在明显的差别。根据我国以砂体为主要输导通道的大中型气

田天然气聚集效率的不同,可以把它划分为三个等级:(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,我国有 4 个以砂体为主要输导通道的大中型气田,主要分布在柴达木盆地;(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,我国有 3 个以砂体为主要输导通道的大中型气田,主要分布在渤海湾、柴达木和松辽盆地;(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,我国有 4 个以砂体为主要输导通道的大中型气田,主要分布在鄂尔多斯盆地。

3.2 砂体输导层输导天然气效率下限确定

由文献^[17~22]资料可以得到我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田砂体渗透率、厚度、倾角

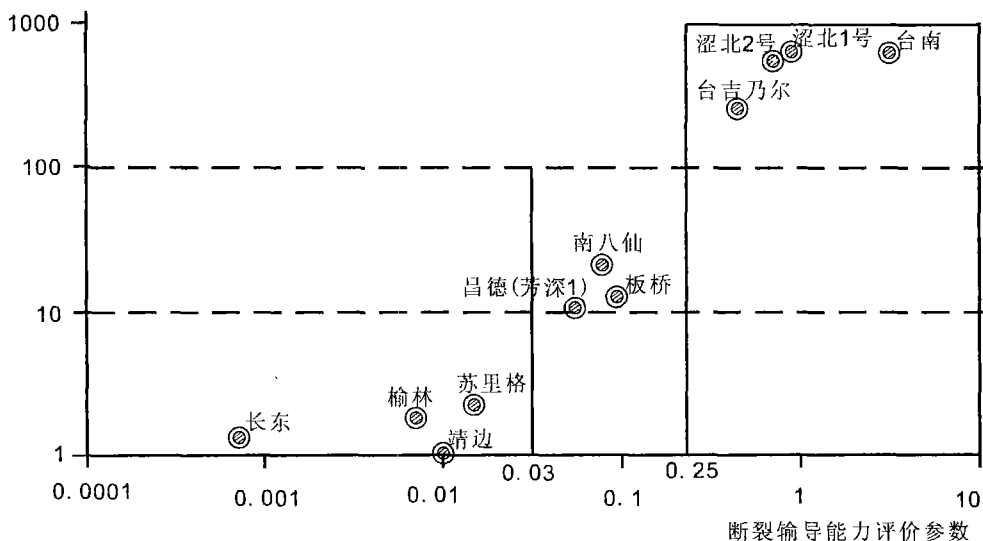


图 2 砂体输导层输导天然气能力评价参数之间关系图

Fig 2 Relationship between gas accumulation efficiency and evaluation parameter of gas transportation ability through sandbody of large and partial medium gas fields in China

及其输导层厚度的统计值, 由式 1 对其砂体输导层输导天然气能力评价参数进行了计算, 结果如表 1 所示。由表 1 可以看出, 在我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田中, 砂体输导层输导天然气能力评价参数差异相对较大, 最大的是柴达木盆地台南气田的砂体输导层输导天然气能力评价参数达到 3.16 最小的是靖边气田砂体输导层输导天然气能力评价参数仅 9.75×10^{-3} , 为了确定砂体输导层输导天然

气高、中、低效率的界限, 将上述我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田天然气聚集效率与其砂体输导层输导天然气能力评价参数之间二者作图, 结果如图 2 所示, 由图 2 中可以看出, 我国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田天然气聚集效率与砂体输导层输导天然气能力评价参数之间为明显的正比关系, 即砂体输导层输导天然气能力评价参数越大, 天然气聚集效率越高; 反之则越低。

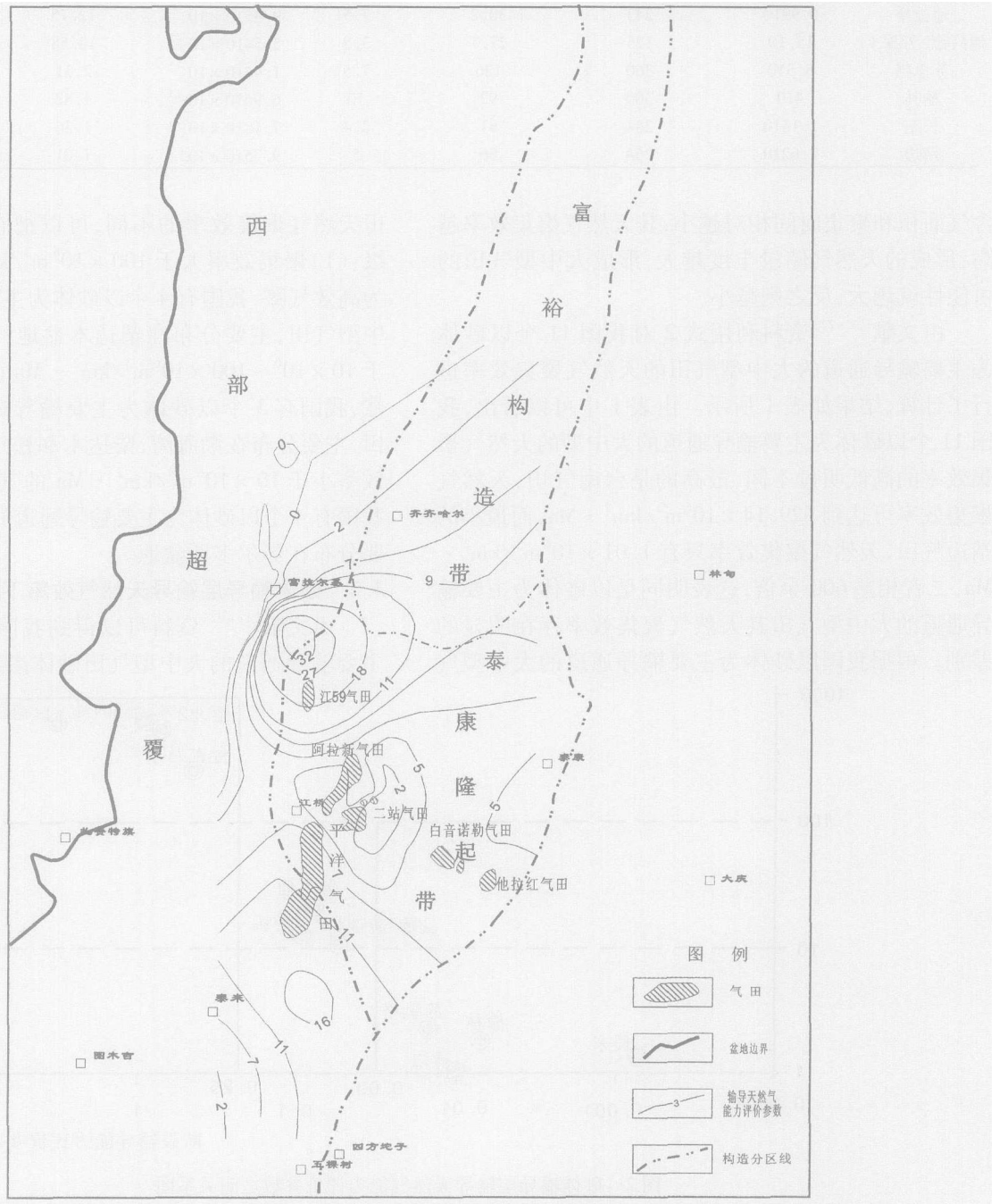


图 3 西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力评价参数分布图

Fig 3 The distribution of evaluation parameter of gas transportation through sandbody of S_{2+3} oil layer in west sbpe region (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

按照上述高、中、低效大中型气田的评价标准, 由图 2 可以得到高、中、低效大中型气田形成所需要的砂体输导层输导天然气能力评价参数的下限分别约为大于 0.25、0.25~0.03 和小于 0.03。由此本文将此界限作为砂体输导层输导天然气高、中、低效率的界限值。

4 萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率评价及其结果分析

利用西斜坡区 40 余口探井的萨二、三油层厚度、砂体层数、厚度、渗透率及倾角资料, 由式 1 对西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力评价参数进行了计算, 结果如图 3 所示。由图 3 中可以看出, 西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力评价参数最高可达到 32.0, 主要分布在富拉尔基南部地区, 其次位于泰来以东地区, 砂体输导层输导天然气能力评价参数最大可达到 16.0, 由此向四周砂体输导层输导天然气能力评价参数逐渐减小, 向西减小更快, 在富拉尔基以西地区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力评价参数减小为零。

按照上述砂体输导层输导天然气效率评价标准, 可以看出西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率相对较高, 除富拉尔基以西砂体输导层输导天然气能力低, 为中、低效天然气输导能力, 且分布面积有限外, 富拉尔基以东整个地区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力均较强, 输导天然气效率均可达到高效级别, 这是该区天然气聚集成藏的有利条件。

由图 3 中可以看出, 目前西斜坡区萨二、三油层已发现的江 59、阿拉新、二站、白音诺勒、他拉红、平洋等气藏均分布在其砂体输导层输导天然气能力评价参数大于 1.5 之上的区域内, 这表明从天然气输导条件上看西斜坡区萨二、三油层具有高效输导天然气的的能力, 如果有良好的圈闭条件配合, 有利于齐家—古龙凹陷青山口组和嫩江组一段源岩生成排出的天然气向西斜坡区运聚成藏。此外, 由图 3 还可以看出, 西斜坡区富拉尔基以西地区萨二、三油层砂体输导层输导天然气能力评价参数为零, 表明此区萨二、三油层砂体无输导天然气能力, 由齐家—古龙凹陷青山口组和嫩江组一段源岩生成排出的天然气在萨二、三油层向西斜坡区运移时, 只能运移至富拉尔基处, 而不能再向其以西继续运移, 不利于天然气聚集成藏。这可能也就是目前西斜坡区萨二、三油层已发现的天然气藏主要分布富拉尔基以东地区而其以西地区则无

天然气藏分布的一个非常重要原因。

5 结论

(1) 由国 11 个以砂体为主要输导通道的大中型气田天然气聚集效率与砂体输导层输导天然气能力评价参数之间的关系研究得到, 高效、中效和低效砂体输导层输导天然气能力评价参数分别为大于 0.25、0.25~0.03 和小于 0.03。

(2) 西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率相对较高, 仅在富拉尔基以西有限地区为中、低效砂体输导层输导天然气能力区, 其余广大地区皆为高效砂体输导层输导天然气能力区。

(3) 西斜坡区萨二、三油层已发现的天然气藏皆分布在高效砂体输导层输导天然气能力区内, 表明齐家—古龙凹陷生成排出的天然气向西斜坡区运移具良好的输导条件。

参考文献 (References)

- 1 Dreyer T, Scheie A and Wællelung O. M inipem eter based study of permeability trends in channel sandbodies. AAPG Bulletin, 1990, 74 (2): 359~374.
- 2 Doyel J D and Sweet M L. Three dimensional distribution of lithofacies bounding surfaces porosity and permeability in a fluvial sandstone Gypsy sandstone of North Oklahoma. AAPG Bulletin, 1995, 79 (1): 70~96.
- 3 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three dimensional model. AAPG Bulletin, 1997, 81 (9): 1451~1481.
- 4 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three dimensional model. AAPG Bulletin, 1999, 83 (7): 1020~1023.
- 5 Bekele E, Person M and Masily G. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three dimensional model. Discussion. AAPG Bulletin, 1999, 83 (7): 1015~1019.
- 6 龚再生, 杨甲明. 油气成藏动力学及油气运移模式. 中国海上油气(地质), 1999, 13(4): 235~239 [Gong Zaisheng, Yang Jianming. Migration models and pool forming dynamics. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999, 13(4): 235~239].
- 7 雷茂盛, 林铁峰. 松辽盆地断层纵向导流性浅析. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 32~35 [Lei Maosheng, Lin Tiefeng. Preliminary analysis of the vertical flow conductivity of fault systems in Songliao Basin. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(1): 32~35].
- 8 王震亮, 陈荷立. 有效运聚通道的提出与确定初探. 石油实验地质, 1999, 21(1): 71~75 [Wang Zhenliang, Chen Heli. Preliminary study on effective migration pathway and its concept. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(1): 71~75].
- 9 张照录, 王华, 杨红, 等. 含油气盆地的输导体系研究. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133~135 [Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong, et al. Study on passage system of petroliferous basins. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 133~135].

- Gas Geology 2000 21(2): 133~135]
- 10 谢泰俊. 琼东南盆地天然气运移输导体系及成藏模式. 勘探家, 2000 5(1): 17~21 [Xie Taijun Gas migration transporting system and accumulation models in Qiongdongnan Basin. Petroleum Exploration 2000 5(1): 17~21]
 - 11 付广, 薛永超, 付晓飞. 油气运移输导体系及对成藏的控制. 新疆石油地质, 2001 22(1): 24~26 [Fu Guang Xue Yongchao Fu Xiaofei Oil gas migration systems and their control over the formation of reservoir. Xinjiang Petroleum Geology 2001 22(1): 24~26]
 - 12 李铁军, 罗晓容. 碎屑岩输导层内油气运聚非均一性的定量分析. 地质科学, 2001 36(4): 402~413 [Li Tiejun Luo Xiaorong The heterogeneity of petroleum migration in clastic carrier beds. Chinese Journal of Geology 2001 36(4): 402~413]
 - 13 赵忠新, 王华, 郭奇军, 等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析. 石油实验地质, 2002 24(6): 527~532 [Zhao Zhongxin Wang Hua Guo Qijun et al Types of passage system and analysis of evolution of its capabilities in temporal and spatial range. Experimental Petroleum Geology 2002 24(6): 527~532]
 - 14 解习农, 王增明. 盆地流体动力学及其研究进展. 沉积学报, 2003(1): 21~23 [Xie Xinnong Wang Zengming Dynamics of basin fluid and its research advances. Acta Sedimentologica Sinica 2003 21(1): 21~23]
 - 15 史建南, 郝芳, 姜建群. 大民屯凹陷高蜡油成藏机理研究. 沉积学报, 2005 23(3): 548~553 [Shi Jiannan Hao Fang Jiang Jianqun Study of high wax oil accumulation mechanism in Damintun depression. Acta Sedimentologica Sinica 2005 23(3): 548~553]
 - 16 查明, 张一伟, 邱楠生. 油气成藏条件及主控因素. 北京: 石油工业出版社, 2003 71~95 [Zha Ming Zhang Yiwei Qiu Nansheng Accumulation Condition and Controlling Factors of Oil. Beijing Petroleum Industry Press 2003 71~95]
 - 17 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源. 北京: 石油工业出版社, 2003 [Dai Jinxing Chen Jianfa Zhong Ningning et al Large Gas Fields of China and Their Gas Sources. Beijing Petroleum Industry Press 2003]
 - 18 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大中型气田概论. 北京: 石油工业出版社, 2000 [Kang Zhulin Fu Chengde Cui Shufen et al Introduction of Large Gas Fields in China. Beijing Petroleum Industry Press 2000]
 - 19 王密君, 包茨, 李懋钧, 等. 中国石油地质志(四川油气区). 北京: 石油工业出版社, 1989 [Wang Mijun Bao Ci Li Maojun et al Petroleum Geology in China (Sichuan Oil Gas Region). Beijing Petroleum Industry Press 1989]
 - 20 付晓飞, 吕延防, 付广, 等. 逆掩断层垂向封闭性定量模拟实验及评价方法. 地质科学, 2004 39(2): 223~233 [Fu Xiaofei Lv Yanfang Fu Guang et al Quantitative simulation experiment and evaluation method for vertical seal of overthrust. Chinese Journal of Geology 2004 39(2): 223~233]
 - 21 包茨. 天然气地质学. 北京: 石油工业出版社, 1998. 237 [Bao Ci Gas Geology. Beijing Science Press 1998. 237]
 - 22 柳广弟, 李剑, 李景明, 等. 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, 2005 16(1): 1~7 [Liu Guangdi Li Jian Li Jingming et al The controls and the assessment method for the effectiveness of natural gas migration and accumulation process. Natural Gas Geosciences 2005 16(1): 1~7]

Evaluation on Transporting Efficiency Through Sandbody of S_{2+3} Oil Layer in West Slope Region

FU Guang SHUN Yong-he LV Yan-fang HUANG Jin-song

(Daqing Petroleum Institute Daqing Heilongjiang 163318)

Abstract To study gas transporting efficiency through sandbody, a parameter to evaluate gas transportation ability through sandbody was set up based on the analysis of factors influencing gas transporting ability through sandbody. Using the evaluation parameter of gas transporting ability through sandbody, 11 large and medium gas fields of which the gas transporting pathway is sandbody were studied. By the study on the relationship between gas accumulation efficiency and evaluation parameter of gas transporting ability through sandbody of the above-mentioned gas fields, it was considered that the evaluation parameter of gas transporting ability through sandbody with high, middle and low efficiency to be separately more than 0.25, 0.25~0.03 and less than 0.03. According to transportation characteristics through sandbody of S_{2+3} oil layer in west slope region, gas transporting efficiency through sandbody in the region was studied. It was believed that gas transporting efficiency through sandbody of S_{2+3} oil layer in west slope region was high. Although gas transporting efficiency is middle and low at the limited area in the west of Fulaerji, gas transporting efficiency is high in other regions. All gas reservoirs of S_{2+3} oil layer in west slope region now distribute in gas transporting area through sandbody with high efficiency. It indicates that its own good transporting condition is the main reason for gas from Qijia Gulong sag to migrate to west slope region.

Key words west slope region, S_{2+3} oil layer, sandbody, transporting efficiency, gas evaluation parameter