

文章编号:0253-9985(2012)03-0385-07

鸡西盆地致密砂岩气存在的可能性

王伟明¹, 卢双舫¹, 王世辉², 刘世恩³, 王贵磊¹, 穆国栋¹, 蒋思芹⁴, 徐建军⁵

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆油田公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163300;
3. 承德石油高等专科学校, 河北 承德 067000; 4. 中国石油 大庆油田公司 第六采油厂, 黑龙江 大庆 163114;
5. 中国石油 吉林油田公司 新木采油厂, 吉林 松原 138000)

摘要:鸡西盆地的油气勘探程度较低,尤其是对致密砂岩气的研究尚处于起步阶段。在总结国内外成功地区致密砂岩气成藏条件的基础上,从构造、烃源岩以及储层条件等方面探讨了鸡西盆地致密砂岩气的成藏条件。依据鸡 D8 井暗色泥岩样品的地球化学资料,使用化学动力学法计算了研究区致密砂岩气的资源量。研究表明,鸡西盆地属于小型断陷盆地,多期构造演化与储层快速沉积等特点,决定了研究区不具备类似北美阿尔伯达等成功地区的大型致密砂岩气成藏的地质条件。但鸡西盆地城子河组大规模发育的煤系地层长期生气,为致密砂岩气藏的形成提供了充足的气源,烃源岩与储集层紧密叠置接触也有利于致密气的运移和保存。在鸡西盆地的中央凹陷构造稳定区域,寻找致密储层的甜点区,将有机会获得致密砂岩气藏的勘探突破。

关键词:化学动力学;成藏条件;资源潜力;断陷盆地;致密砂岩气;鸡西盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Possibility of tight sand gas reservoirs in Jixi Basin

Wang Weiming¹, Lu Shuangfang¹, Wang Shihui², Liu Shi'en³, Wang Guilei¹, Mu Guodong¹, Jiang Siqin⁴ and Xu Jianjun⁵

(1. Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Petroleum Exploration and Development Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163000, China; 3. Chengde Petroleum College, Chengde, Hebei 067000, China; 4. No. 6 Oil Production Plant, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163114, China; 5. Xinmu Oil Production Plant, PetroChina Jinlin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138000, China)

Abstract: Jixi Basin is still immature in petroleum exploration, especially for tight sand gas. Based on summarizing accumulation conditions of tight sand gas reservoirs at home and abroad, we discussed the tight sand gas accumulation conditions in Jixi Basin in respects of structure, source rock and reservoir. According to the geochemical data of the dark mudstone samples of Ji D8 well, the tight sand gas resources was estimated by the method of chemical kinetics. The results show that Jixi Basin is a small rifted basin featuring in multiple-cyclic tectonic evolution and rapid deposition. Its tight gas geological conditions are quite different from the large tight sand gas reservoirs in North America. However, large-scale coalbeds in the Chengzihe Formation in Jixi Basin provide abundant gas source for the tight sand gas reservoirs. Superimposition and closely contact of source rocks and reservoir are also in favor of the migration and accumulation of gas. Sweet spots of tight sand gas may exist in the tectonically stable region of the central depression in Jixi Basin.

Key words: chemical kinetics, hydrocarbon accumulation, resource potential, faulted basin, tight sand gas, Jixi Basin

致密砂岩气藏作为一种非常规气藏,可以有效弥补常规天然气储量的不足,在全球能源结构

中扮演着重要的角色^[1-4]。自1927年美国的圣胡安盆地最早发现了低孔、低渗致密砂岩气藏以来,

收稿日期:2011-12-29;修订日期:2012-04-10。

第一作者简介:王伟明(1981—),男,博士研究生、讲师,油气地球化学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972101);国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2009CB219306)。

北美地区已经在该勘探领域取得丰硕成果,为世界致密砂岩气的勘探开发提供了宝贵经验^[5-6]。根据这些成功地区的勘探与开发经验,我国也相继在四川、鄂尔多斯、吐哈等多个盆地发现了大中型致密砂岩气藏。鸡西盆地是大庆外围战略选区的优选盆地,尽管对其油气地质条件的勘探还处于起步阶段,但从鸡参1井、鸡参2井等多口钻井揭示来看,鸡西盆地发育与煤系源岩紧密接触的致密储集层,这与圣胡安及阿尔伯达等盆地致密砂岩气藏的成藏条件较为接近,那么鸡西盆地的其他地质条件是否也与这些成功地区有一定的相似性,是急需解决的科学问题。因此,在充分总结国内外成功地区致密砂岩气成藏条件的基础上,对研究区多项地质要素进行研究,探讨鸡西盆地能否形成致密砂岩气藏,为该区下一步的勘探提供有利依据。

1 地质概况

鸡西盆地位于黑龙江省东南部,地跨鸡西、穆棱、密山和鸡东四市,为一北东东-北东向的中生代断陷盆地,东南侧被敦密断裂斜切。盆地东西长135 km,南北平均宽约25 km,面积3 780 km²(图1)。盆地在太古代花岗岩和片麻岩基底之上沉积了早白垩世鸡西群和桦山群地层。鸡西群自下而上为滴道组、城子河组、穆棱组和东山组。城子河组和穆棱组是油气勘探的重点。城子河组为断陷期沉积,不整合于滴道组或基底之上,为一套以陆相河流、三角洲和浅湖相为主的砂泥岩沉积。城子河组总厚600~800 m,含煤40余层;穆棱组为盆地拗陷期沉积,整合于城子河组之上,主要以滨浅湖到半深湖暗色泥岩夹煤层沉积为主,上部

有多层凝灰岩夹层。穆棱组地层总厚为700~1 100 m,含煤20余层。

2 成功地区致密砂岩气成藏条件

2.1 向斜轴部及构造下倾方向是致密砂岩气富集带

在北美地区,向斜轴部及构造下倾方向是致密砂岩气富集带,如加拿大艾尔姆华士、牛奶河、霍得利三大气田以及美国圣胡安、尤因塔-皮申斯、丹佛、大绿河、粉河、风河等大型盆地。这些盆地多属于克拉通盆地或前陆盆地^[7-8],在剖面上表现为不对称性,沉积体呈楔形状,其内部褶皱和断裂构造不发育,具有气水倒置现象。Masters^[9]认为在前陆盆地的深凹陷中,只要构造不发育,同时又有煤系地层,那么致密砂岩气勘探成功率就会非常高。

就富集致密砂岩气而言,向斜轴部或构造下倾部位与其他构造部位相比,具有以下优越条件:①该构造部位发育区域性稳定的构造背景,有利于天然气的生成与保存;②紧邻生烃中心,生排烃强度大,可保证充足的气源供应;③储层沉积后以压实作用为主,致密储层发育;④地温梯度高,促进有机质向油气转化;⑤断裂及褶皱不发育,地层倾角平缓,有利于致密砂岩气保存。

2.2 煤系烃源岩提供充足气源

目前国内外所发现的大规模致密砂岩气藏都与成熟度高、有机质丰度高的煤系地层有关。马新华认为煤系具有强大的生烃能力,其生气能力

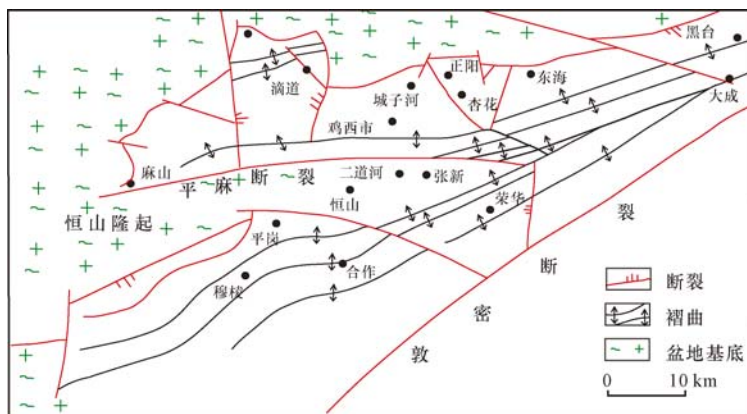
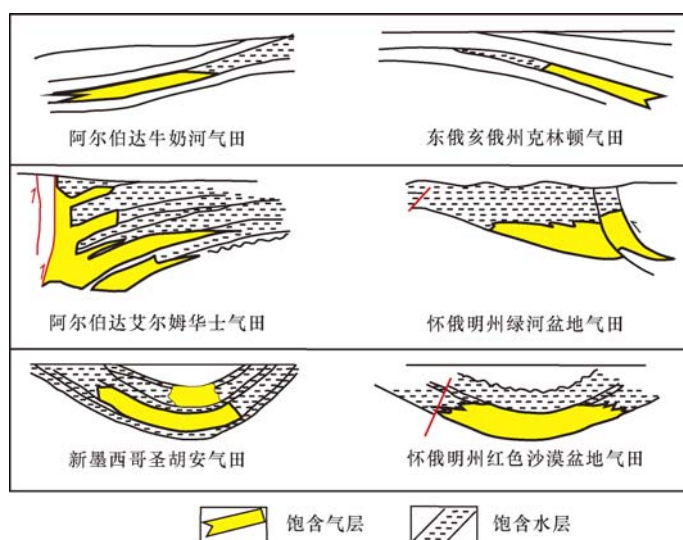


图1 研究区构造位置

Fig. 1 Structural location of the study area

图2 国外各盆地致密砂岩气藏成藏模式^[10]Fig. 2 Tight sand gas accumulation models of sedimentary basins outside of China^[10]

是湖相泥岩和碳酸盐岩的3~10倍^[11]。只有较大的生气量才能把地层中的水向上倾方向驱排,才有可能形成连片分布的大规模气藏。落基山地区的致密砂岩气藏的气源岩经勘探证实,主要为白垩系煤层及炭质泥岩,其次为侏罗系、古近系和新近系的暗色泥岩,煤系地层不但厚度大、分布广,而且有机质含量丰富,致密砂岩气源岩的形成环境从海相、海陆交互相到陆相均有分布^[12-13]。从表1中可以看出,致密砂岩气藏的气源岩大多与煤系地层有关,岩性以煤和炭质泥岩为主,有机质类型以Ⅲ型干酪根为主。煤系地层越厚,有机质演化程度越高,致密砂岩气藏才能得到充足的气源。如阿尔伯

达下白垩统发育的海陆交互相含煤层系,有机质以陆源为主,镜质体反射率(R_o)均大于1.0%,大部分烃源岩处于大量成气阶段,具有晚成气的特点,为致密砂岩气藏的形成提供了充分条件。另一方面与煤层伴生的碎屑岩层因受沉积作用控制和成岩作用影响,往往比较致密或渗透率较低。

2.3 致密储层连片分布

致密砂岩气藏储层的发育是保证天然气成藏的前提^[15],一般而言,要求其成藏的临界孔隙度小于12%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含气饱和度低于60%,含水饱和度高于40%。致密储层的岩性

表1 国外各盆地致密砂岩气源岩特征^[14]

Table 1 Characteristics of source rocks for tight sand gas reservoirs outside of China

源岩特征	阿尔伯达盆地	圣胡安盆地	大绿河盆地
烃源岩时代及岩性	主要为下白垩统煤层和暗色泥页岩,其次是侏罗系-三叠系及上白垩统暗色泥页岩	主要为白垩系煤层和有机质泥页岩,其次为侏罗系-三叠系有机质泥页岩	主要是上白垩统-古近系煤层和含有机质泥页岩
烃源岩厚度/m	>1 000	>915	>500
沉积环境	浅海相沉积平原、三角洲平原	滨海平原沼泽	冲积平原、三角洲平原
泥页岩的有机质含量/%	1.0~80	>2	0.04~20.5
有机质类型	Ⅱ,Ⅲ型干酪根为主	Ⅲ型干酪根为主	Ⅲ型干酪根为主
热成熟度(R_o)/%	0.9~1.3	0.8~1.45	0.8~1.3
主要生气时代	古新世	古新世	古新世
煤层厚度/m	3~9	9~15	12
总生气量/(10^{12} m^3)	257	2.3	2.4

多为致密的砾岩、砂岩、粉砂岩以及粉砂质泥岩,其发育机理与强烈的成岩作用密切相关,而且自生粘土矿物的含量明显高于常规储层,使得储层致密以及微观结构复杂。因此,天然气在致密储层中流动的速度远低于常规储层。也就是说,致密储层的发育不仅可以储气,还可以作为天然气散失的遮挡层。Satriana 对北美 13 个盆地 31 个低孔、低渗砂岩气层渗透率的统计结果表明,渗透率为 $0.001 \times 10^{-3} \sim 0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的有 23 层,其中渗透率在 $0.001 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的有 15 层,而最大的几个产气层的渗透率都在 $0.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下^[16]。我国鄂尔多斯盆地上古生界致密砂岩气藏储层的孔隙度为 4%~8%,渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。四川盆地上三叠统深盆气储层孔隙度一般为 3%~8%,渗透率一般为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.4 致密砂岩与煤系源岩大面积叠置

大范围的烃源岩分布以及源储紧密叠置,为致密砂岩气提供了有利的条件,一方面有利于气源岩生成的烃类流体短距离向储集层运聚,另一方面有利于致密砂岩气的保存,为致密砂岩气提供有利的条件^[5,17-18]。国内外的大多数致密砂岩地中,气源岩分布层位多,与储集层互层或相邻,气源岩生成的致密砂岩气直接或者经过短途运移进入储集层,源储相通,气源岩与储集层的分布叠合区域就可以作为致密砂岩气成藏的大致区域。

3 鸡西盆地致密砂岩气成藏条件

3.1 构造条件

构造条件是决定致密砂岩气藏形成的重要控

制因素。从表 2 可以看出,国内外致密砂岩气藏都发育在构造背景稳定的前陆盆地或克拉通盆地,而鸡西盆地是发生多次构造抬升的断陷盆地,断裂发育,构造相对稳定的深盆区面积较小,由此决定了鸡西盆地不能形成类似阿尔伯达等盆地的连片大面积的致密砂岩气藏。

从鸡参 1 井的钻探来看,在城子河组煤层之上的致密储层中见到活跃的气测显示(图 3),说明研究区尽管是断陷盆地,但是在局部的凹陷部位同样具备稳定的构造条件,而且气源岩发育,与之紧邻的储层也具备一定的致密砂岩气勘探潜力。

3.2 烃源岩条件

致密砂岩气成藏的前提条件是有持续而充足的天然气来源。研究区城子河组以泛滥平原和三角洲相为主,尤其是沼泽相极为发育,主力煤层全盆发育,累计厚度 2~18 m^[19],煤阶以气煤、焦煤为主。从表 3 可以看出,鸡西盆地城子河组烃源岩的有机质丰度、有机质类型及成熟度与国内外成功地区相比基本相当,其中泥岩的有机质丰度还高于其他地区,具备形成致密砂岩气的烃源岩条件。

3.3 储层条件

致密储层的大面积发育也是致密砂岩气藏形成的条件之一。国内外的致密砂岩气藏中,储层的物性普遍较差,具有低孔、低渗的特点。从图 4 可以看出,如果按照孔隙度小于 12%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 来划分致密砂岩储层,在此范围内的砂岩孔隙度与渗透率关系复杂;而大于该范围的常规储层,二者表现出很好的直线关系。由此说明,

表 2 鸡西盆地与其他盆地构造特征对比
Table 2 Comparison of structural characteristics between Jixi Basin and other basins

类比盆地	地层倾角/(°)	深盆区面积/(10 ⁴ km ²)	构造活动期次	盆地类型	断裂发育程度
阿尔伯达	0~0.5	6.20	一期	前陆盆地	构造稳定,较少发育裂隙
牛奶河	<0.1	1.75	无	克拉通盆地	无大断裂
圣胡安	0~0.6	0.93	一期	前陆盆地	微裂缝大量发育
鄂尔多斯	0.5	5.00	一期	克拉通盆地	构造稳定,盆地主体几乎无断层
川西坳陷	1.0~2.0	0.97	一期	前陆盆地	裂缝大量发育,非均质性分布
鸡西	16.0	0.03	两期	断陷盆地	后期构造强烈,断裂发育

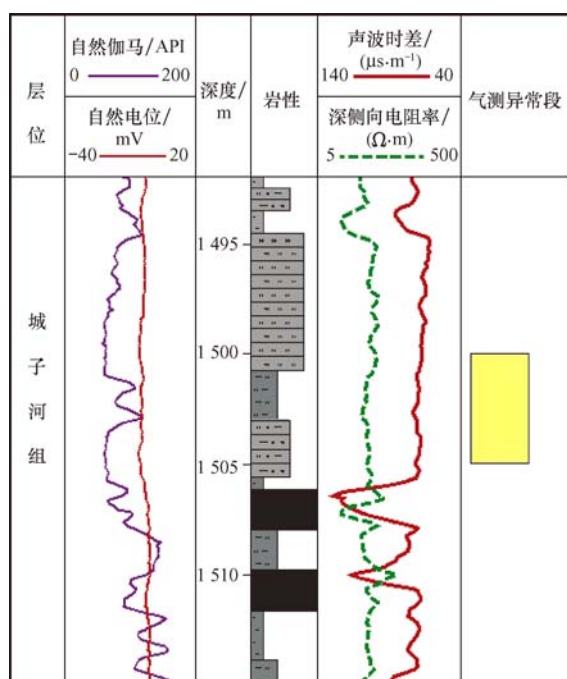


图3 鸡西盆地鸡参1井城子河组气测显示

Fig. 3 Gas shows on mud logging in Jican-1 well in the Chengzihe Formation in Jixi Basin

表3 鸡西盆地与其他盆地气源岩地化特征

Table 3 Geochemical characteristics of the gas source rocks in Jixi Basin and other basins

盆地名称	泥岩有机碳含量/%	煤岩有机碳含量/%	干酪根类型	成熟度 (R_o)/%
鸡西	2.15	71	Ⅲ型	0.30 ~ 2.10
圣胡安	2.00	70	Ⅱ, Ⅲ型	0.80 ~ 1.45
阿尔伯达	1.50	70	Ⅲ型	0.70 ~ 2.10
川西	1.95	65	Ⅲ型	1.00 ~ 1.50
鄂尔多斯	1.80	78	Ⅲ型为主, Ⅱ型为辅	1.60 ~ 2.60

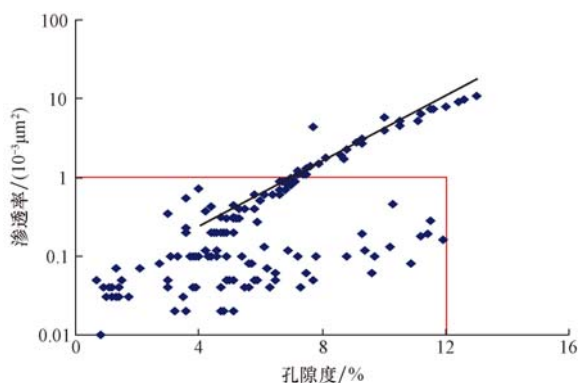


图4 鸡西盆地孔隙度与渗透率关系

Fig. 4 Relationship between porosity and permeability of Jixi Basin

鸡西盆地存在致密储层,其非均质性强,孔渗关系不明显。尽管已发现国内外的致密砂岩气藏中,储层的物性普遍较差,主要表现在储层致密,孔隙度小,渗透率低,但并不是说储层越致密对成藏越有利,只有在致密砂岩层背景条件下的高孔渗砂岩体才具有勘探和开发的商业价值,鸡西盆地致密储层与国外致密储层相比,其孔隙度与渗透率明显低于其他盆地(图5)。

3.4 源-储接触关系

鸡西盆地城子河组烃源岩与储层呈互层接触,源-储匹配关系好,适合致密砂岩气藏形成(图6)。

4 鸡西盆地致密砂岩气资源量

4.1 样品与实验

根据研究区有机质丰度、类型和成熟度资料,选用鸡D8井泥岩样品(有机碳含量为3.51%,氢指数为231 mg/g)开展实验。采用Rock-Eval-II型热解仪,分别以10,20,30,40,50 °C/min的升温速率将样品从200 °C恒温升温至600 °C。实时记录产物量与加热时间的关系,后经累加并做归一化处理即可得到产烃率-温度关系曲线,用于标定有机质生烃的化学动力学模型。

4.2 模型选取与标定

化学动力学模型选取及标定是生烃史分析的关键,模型的优劣直接影响计算结果^[20]。沉积有机质的生烃过程可视为热力学作用下的化学反应过程,有关反应进行的程度和产物组成及其与温

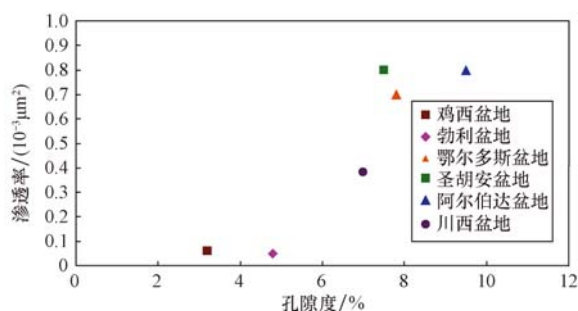


图5 鸡西盆地与其他盆地孔-渗关系

Fig. 5 Porosity-permeability relationship between Jixi Basin and other basins

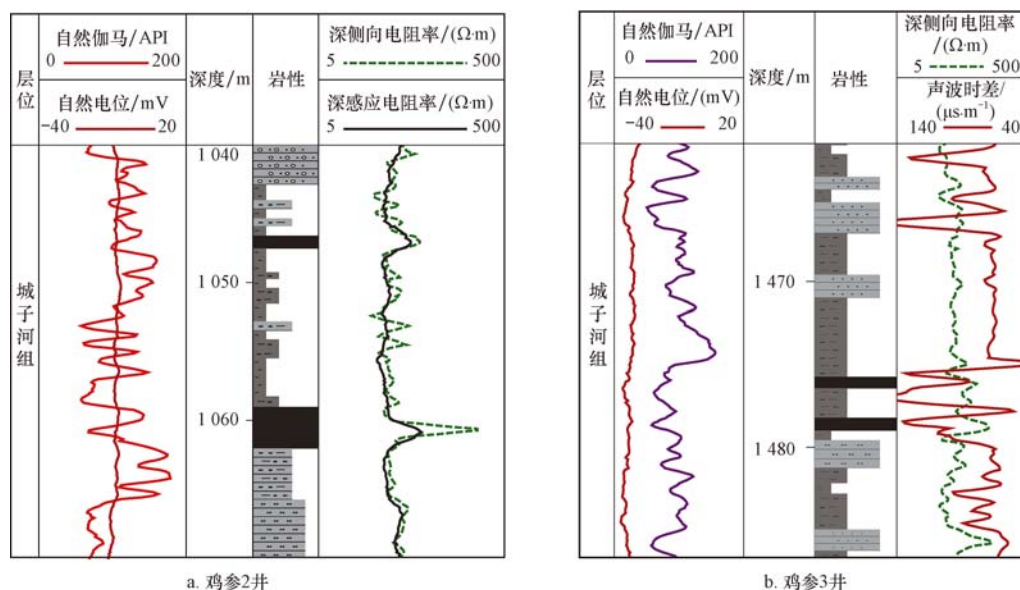


图6 鸡西盆地烃源岩与储层接触关系

Fig. 6 Contact relationship between the source rock and reservoir in Jixi Basin

度和时间的关系可由化学动力学方程来定量、动态描述。由于沉积有机质的来源、组成和结构极其复杂,使其具有多种类型的化学键,总包反应和串联反应模型难以准确描述其生烃反应过程,而选用平行一级反应化学动力学模型,能够描述不同类型有机质的成烃演化过程^[21-22]。平行一级反应动力学模型能够对鸡西盆地有机质的成气过程进行较好的拟合(图7)。

4.3 资源量计算

根据鸡西盆地暗色泥岩的分布情况,结合研究区沉积埋藏史和热史,将有机质生烃反应的化学动力学参数(图8)进行地质应用,由生烃剖面结合烃源岩的分布和埋深及其中有机质的地化特

征,计算研究区烃源岩层的生烃量及残烃量,然后按生烃量减去残烃量等于排烃量的物质平衡原理,选取合理的聚集系数,得出合理的资源量。

计算得出鸡西盆地穆棱组致密砂岩气资源量为 $608 \times 10^8 \text{ m}^3$, 城子河组致密砂岩气资源量为 $1\,107 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由此可见,鸡西盆地致密砂岩气资源丰富,具备一定的勘探潜力。

5 结论

1) 鸡西盆地属于小型断陷盆地,多期构造演化和储层快速堆积等特点决定了其不具备类似阿尔伯达等成功地区的大型致密砂岩气成藏条件。

2) 鸡西盆地的中央凹陷区,构造稳定,断裂

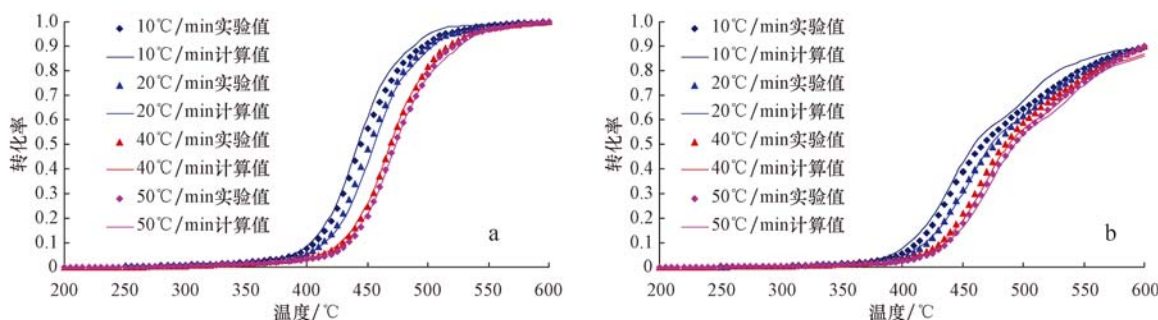


图7 鸡西盆地鸡 D8 井泥岩样品有机质成烃转化率曲线

Fig. 7 Conversion rate curve of organic matter into hydrocarbon of mudstone samples from Ji D8 well in Jixi Basin

a. 有机质成油转化率; b. 有机质成气转化率

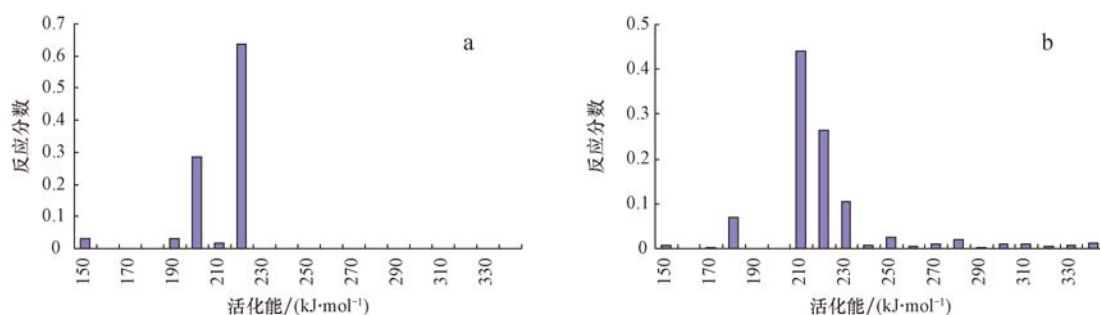


图8 鸡西盆地鸡D8井泥岩样品有机质成油、成气反应活化能

Fig. 8 Activation energy of organic matter generating oil/gas reactions of mudstone samples from Ji D8 well in Jixi Basin

a. 有机质成油活化能分布; b. 有机质成气活化能分布

相对不发育,局部的储层甜点区由高丰度的煤系地层提供充足的气源,而且烃源岩与储层紧密叠置,具备形成致密砂岩气藏的地质条件。

3) 化学动力学法计算鸡西盆地穆棱组致密砂岩气资源量为 $608 \times 10^8 \text{ m}^3$,城子河组致密砂岩气资源量为 $1\ 107 \times 10^8 \text{ m}^3$,该区具备一定的勘探潜力。

参 考 文 献

- [1] 陈建渝,唐大卿,杨楚鹏,等. 非常规含气系统的研究和勘探进展[J]. 地质科技情报,2003,22(4):55-59.
Chen Jianyu, Tan Daqing, Yang Chupeng, et al. Advances in the research and exploration of unconventional petroleum systems[J]. Geological Science and Technology Information, 2003,22(4):55-59.
- [2] 侯瑞云,刘忠群. 鄂尔多斯盆地大牛地气田致密低渗储层评价与开发对策[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):118-128.
Hou Ruiyun, Liu Zhongqun. Reservoir evaluation and development strategies of Daniudi tight sand gas field in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):118-128.
- [3] 蔡希源. 深层致密砂岩气藏天然气富集规律与勘探关键技术——以四川盆地川西坳陷须家河组天然气勘探为例[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):707-714.
Cai Xiuyan. Gas accumulation patterns and key exploration techniques of deep gas reservoirs in tight sandstone; an example from gas exploration in the Xujiahe Formation of the western Sichuan Depression, the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010,31(6):707-714.
- [4] 姜振学,庞雄奇,张金川,等. 深盆地研究现状综述[J]. 地球科学进展,2000,15(03):289-292.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zhang Jinchuan, et al. Summarization of deep basin gas studies[J]. Advance in Earth Sciences,2000,15(03):289-292.
- [5] 金之钧,张金川,王志欣. 深盆地成藏关键地质问题[J]. 地质论评,2003,49(4):400-407.
Jin Zhijun, Zhang Jinchuan, Wang Zhixin. Some remarks on deep basin gas accumulation[J]. Geological Review, 2003, 49(4):400-407.
- [6] 王威,盘昌林,岳全玲. 川东北元坝地区自流井组珍珠冲段致密储层特征与主控因素[J]. 石油地质与工程,2011,25(5):10-12.
Wang Wei, Pan Changlin, Yue Quanling. Reservoir characteristics and main controlling factors for Zhenzhuchong Member of Ziliujing Formation in Yuanba area, north eastern Sichuan[J]. Petroleum Geology and Engineering,2011,25(5):10-12.
- [7] 张金亮,张金功. 深盆地气藏的主要特征及形成机制[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2001,16(1):1-7.
Zhang Jinliang, Zhang Jingong. Basic characteristics of deep basin gas traps[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute(Science & Technology Edition), 2001,16(1):1-7.
- [8] 张金川,金之钧,张一伟. 深盆地气藏的界定及地质特征研究[J]. 石油大学学报(自然科学版),2001,25(6):25-28.
Zhang Jinchuan, Jin Zhiyun, Zhang Yiwei. Definition of deep basin gas accumulation and its geological characteristics[J]. Journal of China University of Petroleum(Science & Technology Edition), 2001,25(6):25-28.
- [9] Masters J A. Deep basin gas trap, Western Canada[J]. AAPG Bulletin,1979,63(2):152-181.
- [10] Law B E, Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin,2002,86(11):1851-1852.
- [11] 马新华. 中国深盆地勘探开发前景与对策[J]. 天然气工业,2004,24(1):1-4.
Ma Xinhua. Prospects and countermeasures for exploring and developing the deep basin gas in China[J]. Natural Gas Industry,2004,24(1):1-4.
- [12] 张金川,金之钧,庞雄奇. 深盆地成藏条件及其内部特征[J]. 石油实验地质,2000,22(3):210-214.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Pang Xiongqi. Formation conditions and internal features of deep basin gas accumulations[J]. Experimental Petroleum Geology,2000,22(3):210-214.

(下转第398页)

- 件及聚集规律[J]. 石油与天然气地质, 2001, 02(2): 169-172.
- Wang Min, Qin Weijun, Zhao Zhui, et al. Pool-forming condition and accumulation regularity of oils and gases in Biyang depression, Nanxiang Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 02(2): 169-172.
- [15] 易士威, 蒋有录, 范炳达, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷古近系源岩特征与新近系油气来源[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5): 475-479.
- Yi Shiwei, Jiang Youlu, Fan Bingda, et al. Neogene petroleum source and characteristic of Paleogene hydrocarbon source rock in the Raoyang sag, Bohai Bay basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 475-479.
- [16] 关德范, 徐旭辉, 李志明, 等. 烃源岩有限空间生排烃基础研究新进展[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 441-446.
- Guan Defan, Xu Xuhui, Li Zhiming, et al. New progress in basic studies of hydrocarbon generation and expulsion of source rock in finite space [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 441-446.
- [17] 邱荣华, 付代国, 万力. 泌阳凹陷南部陡坡带油气勘探实例分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 605-609.
- Qiu Ronghua, Fu Daiguo, Wan Li. A case study of hydrocarbon exploration in the southern steep slope zone of the Biyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 605-609.

(编辑 高岩)

(上接第391页)

- [13] 王晓, 周文, 王洋新, 等. 新场深层致密碎屑岩储层裂缝常规测井识别[J]. 石油物探, 2011, 50(6): 634-638.
- Wang Xiao, Zhou Wen, Wang Yangxin, et al. Conventional log identification of fractures in the deep tight clastic reservoir in Xinchang area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(6): 634-638.
- [14] 李健, 吴智勇, 曾大乾, 等. 深层致密砂岩气藏勘探开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- Li Jian, Wu Zhiyong, Zeng Daqian, et al. Deep compacted sandstone gas reservoir exploration and development of the technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [15] 宫秀梅, 曾溅辉, 邱楠生. 淮北凹陷深层致密砂岩气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(6): 7-10.
- Gong Xiumei, Zeng Jianhui, Qiu Nansheng. Characteristics of deep tight sandstone reservoir formation in Weibei sag [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(6): 7-10.
- [16] 王志萍, 秦启荣, 王保全, 等. 川西 DY 构造须家河组致密砂岩储层裂缝分布控制因素[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 22-25.
- Wang Zhiping, Qin Qirong, Wang Baoquan, et al. Controlling factors for fracture distribution in the tight sandstone reservoir of Xujiahe Formation in DY structure, western Sichuan [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 22-25.
- [17] 王勇, 施泽进, 刘亚伟, 等. 鄂西渝东地区石柱复向斜志留系小河坝组致密砂岩成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 75-82.
- Wang Yong, Shi Zejin, Liu Yawei, et al. Diagenesis of tight sandstone in the Silurian Xiaoheba Formation of the Shizhu Synclinalium, western Hubei eastern Chongqing Area [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 75-82.
- [18] 廖群山, 胡华, 林建平, 等. 四川盆地川中侏罗系致密储层石油勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 815-822.
- Liao Qunshan, Hu Hua, Lin Jianping, et al. Petroleum exploration prospect of the Jurassic tight reservoirs in central Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 815-822.
- [19] 李占东, 马金龙, 刘文超, 等. 鸡西盆地南部成藏特征及有利含油区研究[J]. 油气地球物理, 2010, 8(2): 28-33.
- Li Zhandong, Ma Jinlong, Liu Wenchao, et al. The research on the reservoir forming feature and distribution of oil-bearing favorable area in Jixi Basin [J]. Petroleum Geophysics, 2010, 8(2): 28-33.
- [20] 卢双舫. 有机质成烃动力学理论及其应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 54-121.
- Lu Shuangfang. Organic matter into hydrocarbon dynamics theory and its application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 54-121.
- [21] 徐立恒, 陈践发, 卢双舫, 等. 应用生烃动力学法研究川东上二叠统烃源岩生烃史[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(4): 594-599.
- Xu Liheng, Chen Jianfa, Lu Shuangfang, et al. Study on hydrocarbon-generating history of hydrocarbon source rock in Upper Permian east. Sichuan basin with hydrocarbon-generating kinetics [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(4): 594-599.
- [22] Zou Y R, Zhao C Y, Wang Y P, et al. Characteristics and origin of natural gases in the Kuqa Depression of Tarim Basin, NW China [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(3): 280-290.

(编辑 董立)