

# Law of Natural Gas Enrichment in Second Member of Xujiahe Formation of Penglai Area, Central Sichuan Basin

Song Tang<sup>1</sup>, Qinming Cao<sup>2</sup>, Zhengxiang Lv<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Chuanzhong Oil & Gas Field of Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina, Suining Sichuan

<sup>2</sup>College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Oil-Gas Reservoir Geology & Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: tangs1@petrochina.com.cn, 1351077875@qq.com, \*417330439@qq.com

Received: Feb. 25<sup>th</sup>, 2019; accepted: Mar. 8<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

There are abundant natural gas reserves of the Upper Triassic Xujiahe Formation of Penglai area, central Sichuan basin. Good exploration and development results have been achieved. The complex structure of reservoirs and the unclear natural gas enrichment law restrict the next exploration. It was started with reservoir, to analyze the reservoir structure and the natural gas enrichment law by physical property, petrological characteristics, pore structure and existing drilling exploration results. The controlling elements of the hydrocarbon accumulation were clarified by these ways in study area. The reservoirs in the second member of Xujiahe formation are tight sandstones with complex pore structure. The type of reservoir's pore space is mainly intragranular dissolution pore. The natural gas enrichment is controlled by sand body, faults and fractures. The sand body scale determines the reserves of gas reservoirs. Faults affect source-reservoir-cap assemblage, which are the key factors of forming reservoirs. The distribution of effective reservoirs is controlled by the fracture growth level.

## Keywords

Central Sichuan, Upper Triassic, Xujiahe Formation, Tight Reservoir, Natural Gas Enrichment

---

# 川中蓬莱地区须家河组二段天然气富集规律

唐松<sup>1</sup>, 曹勤明<sup>2</sup>, 吕正祥<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>中国石油西南油气田分公司川中油气矿, 四川 遂宁

\*通讯作者。

<sup>2</sup>成都理工大学能源学院, 四川 成都

<sup>3</sup>成都理工大学, “油气藏地质及开发工程” 国家重点实验室, 四川 成都

Email: tangs1@petrochina.com.cn, 1351077875@qq.com, \*417330439@qq.com

收稿日期: 2019年2月25日; 录用日期: 2019年3月8日; 发布日期: 2019年3月15日

## 摘要

川中蓬莱地区上三叠统须家河组天然气储量丰富, 勘探开发效果较好。须二段储层结构复杂, 天然气富集规律尚不明晰, 制约着下一步的勘探工作。本文从储层研究入手, 通过物性、岩石学、孔隙结构特征等结合钻井勘探结果, 对须二段储层结构及天然气富集规律进行综合分析, 明确了控制天然气富集的主要地质要素。须二段储层超致密, 孔隙结构复杂, 储集空间主要为粒内溶孔。砂体、断层以及裂缝对天然气富集具有较强的控制作用。砂体规模决定了气藏的储量; 断层影响生储盖组合, 是成藏的关键因素; 裂缝的发育程度控制有效储渗体的分布范围。

## 关键词

川中, 上三叠统, 须家河组, 致密储层, 天然气富集

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

四川盆地中部上三叠统须家河组具有丰富的油气资源和较好的勘探前景, 蓬莱地区位于四川盆地中部的中部地区(图 1) [1]。研究区须家河组为一套陆相含煤碎屑岩地层, 根据岩性组合及沉积相序变化, 自下而上将其划分为须一段到须五段共五个段, 其中, 须一段、须三段及须五段主要为滨浅湖相沉积, 岩性组合以灰黑色泥岩、页岩夹薄层煤层为主, 须二、四段则以水动力较强的辫状河三角洲河道及河口坝沉积为主, 岩性主要为灰白色中、细砂岩。须家河组自 20 世纪 50 年代至今, 勘探成果显著, 已发现中坝、八角场、磨溪、广安、安岳等气藏, 具有广阔的勘探前景。

## 2. 研究区勘探概况

研究区蓬莱地区须二段含气性较好, 已取得了一定的勘探成效。截止 2018 年 4 月, 蓬莱须二气藏总投产井数 23 口, 日产气  $4.94 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 井均产气  $0.82 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 凝析油 2.14 t, 水 40.89  $\text{m}^3$ , 生产水气比 8.28  $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 具备良好的勘探潜力[2] [3], 但由于研究区须二段砂岩致密、控制其天然气富集的主要地质条件复杂等因素[4], 制约了油气勘探工作进程, 导致勘探程度较低。本文以须二段基本地质特征研究为基础, 结合天然气勘探成效分析天然气的富集规律, 建立富集模式, 以指导下一步的油气勘探工作。

## 3. 气藏基本特征

### 3.1. 地质特征

川中蓬莱地区须家河组位于川中平缓褶皱区, 整体具有东南高, 西北低的构造特征。须二段则为一套辫状河三角洲分流河道及河口坝沉积[5], 自下而上可划分为三个亚段, 分别为须二<sup>1</sup>亚段、须二<sup>2</sup>亚段

及须二<sup>3</sup>亚段。其中，须二<sup>1</sup>亚段岩性组合以泥岩为主，部分区域发育致密砂岩；须二<sup>2</sup>亚段主要为灰白色中、粗砂岩，顶部发育一套稳定性较差的泥岩；须二<sup>3</sup>亚段以灰白色中、粗砂岩为主。蓬莱地区须二段岩石类型较为多样，以岩屑砂岩、长石砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主，还有少量长石石英砂岩和岩屑石英砂岩。根据研究区 2253 个物性样点统计可知，研究区须家河组二段储层物性较差。其中，孔隙度集中分布于 4%~8% 的范围内，约占总体的 80% 左右，而渗透率集中分布于 0.001~1 mD 的范围内，且处于 0.001~0.1 mD 的样点占比高达 50% 以上，属于超致密储层。储集空间包括粒内溶孔、裂缝及残余原生孔。其中，粒内溶孔主要为长石颗粒被酸性流体全部或部分溶蚀，是研究区须二段主要的储集空间。部分碎屑颗粒裂纹及裂缝较为发育，若裂缝沟通了粒内溶孔，则将大大提高储层的渗流能力。研究区发育孔隙型储层及裂缝-孔隙型储层两种储层。其中，裂缝-孔隙型储层产能优于孔隙型储层。



Figure 1. Tectonic divisions of Sichuan Basin and location of Penglai area (modified after literature [1])

图 1. 四川盆地构造分区及研究区位置图(据文献 1 修改)

### 3.2. 气藏分布特征

研究区须二段钻井成效较为复杂(图 2)。不同类型钻井分布的非均质性比较强。工业气井在研究区的中部、南部及东北部区域均有分布。研究区西南部 PL9 井及 PL002-5-X1 均为水井，而相似构造高度的 PL107 井及 PL002-3-X1 井则达到了工业气井的级别，说明气水分布具有较强的非均质性。其中，PL107 井稳产可达  $5.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，PL002-3-X1 稳产产量仅为  $1.58 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。SUI36 井与 SUI8 井，其构造位置相近，但产量具有明显差异，说明研究区须二段天然气富集规律复杂，受多因素控制。

#### 4. 天然气富集主控因素

明确天然气富集的主要控制因素, 对于在研究区须家河组寻找天然气富集程度较高的气藏具有重要的指导意义[6] [7]。赵文智等人通过合川、广安等邻区研究, 认为高生气强度区内的裂缝及主要砂体共生体是有利勘探目标。赖锦等人(2012)认为裂缝对蓬莱地区储层产能具有重要控制作用, 但未提及断层的重要性。本次研究通过对储层物性、岩石学特征等综合分析, 结合研究区钻井的勘探情况, 认为蓬莱地区须二段整体含气, 砂体、断层和裂缝是控制川中蓬莱地区须家河组天然气富集的主要因素。

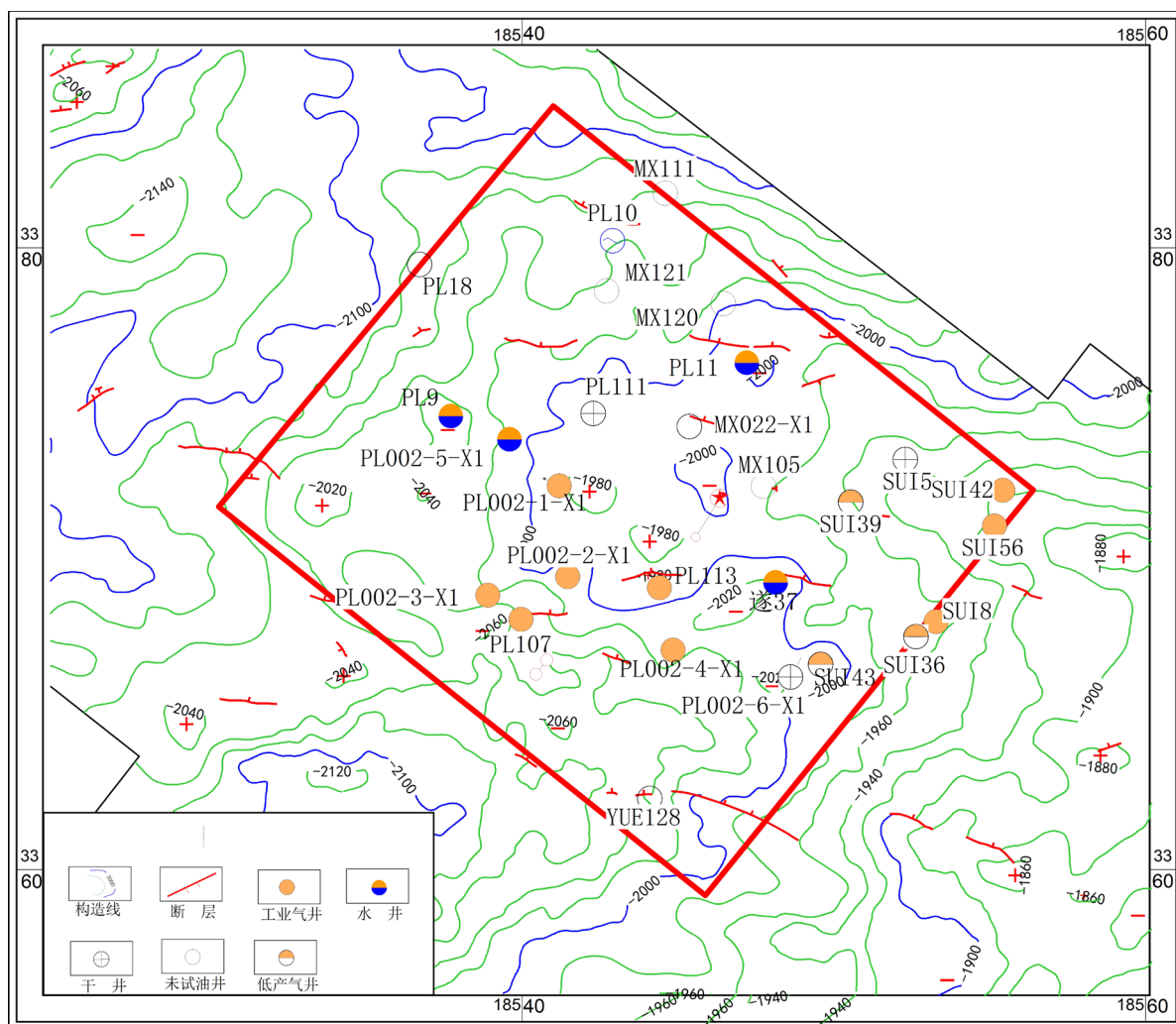


Figure 2. Drilling distribution map in second member of Xujiache formation of study area

图 2. 研究区须二段钻井分布图

#### 4.1. 砂体

砂体对油气储量具有重要的影响, 是能否形成经济油气藏的重要因素[8]。研究表明, 须二段气藏的规模与砂体的发育程度具有重要关系[9] [10]。根据须二段各亚段砂地比统计结果可以看出, 研究区须二<sup>1</sup>亚段砂地比主要集中于 0~0.4, 砂体发育较差。而须二<sup>2</sup>亚段及须二<sup>3</sup>亚段则主要集中于 0.6~1, 砂体发育程度较高, 其中须二<sup>3</sup>亚段的砂岩最为发育, 其 50%以上的钻井须二<sup>3</sup>砂地比高于 0.8 (图 3)。由砂地比分布可知, 须二<sup>2</sup>及须二<sup>3</sup>亚段是主要目的层。

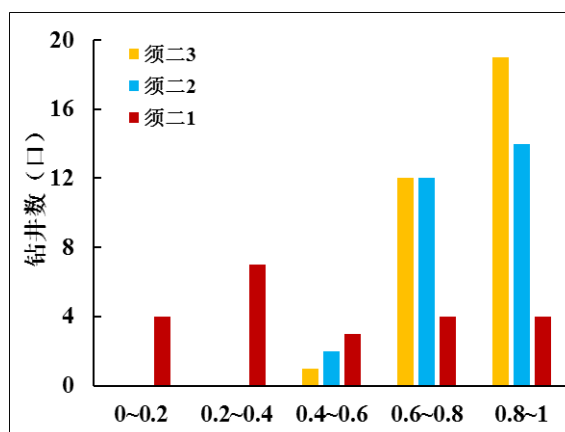


Figure 3. Histogram of the ratio of the sand of different sub-member

图 3. 不同亚段砂地比分布

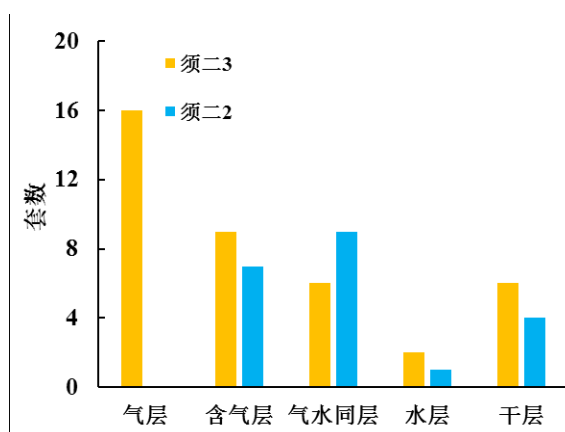


Figure 4. Histogram of gas-containing of reservoirs in second member of Xujiache formation

图 4. 须二段储层含气性分布

根据须二段钻井的综合解释统计结果可知来看(图 4), 须二<sup>3</sup>亚段气层最为发育, 其次为含气层, 二者占比可达 50%以上; 须二<sup>2</sup>亚段气水同层最为发育, 其次为含气层, 且无气层发育, 说明须二<sup>2</sup>亚段天然气聚集丰度明显低于须二<sup>3</sup>亚段, 砂体发育程度对气藏的储量具有较强控制作用。

## 4.2. 断层

由于研究区须二段整体储层致密的因素, 断层的发育程度、断穿层位对生储盖组合具有重要的影响, 是控制天然气富集的一个重要地质条件[11] [12] [13]。

研究区须二<sup>1</sup>亚段发育致密砂岩, 该套砂岩具有低伽马、高电阻率、高密度的电性特征, 并对须一段烃源岩生成烃类的有效向上运移具有较大的阻隔作用。若发育断至须一段烃源岩的断层, 则可以有效的沟通源储, 使天然气得以富集。图 5 表明, 断层的发育对钻井成效影响显著, PL107 井地震剖面显示同相轴明显断开, 断层规模较大, 其测试产量达  $51.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , PL002-4-X1 井断层发育规模相对较小, 其测试产量仅  $22.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。而 PL002-6-X1 井须二段同相轴连续性较好, 断层不发育, 测试为干层, 说明断层对天然气富集成藏具有重要控制作用。但断层的发育具有两面性。断层若向上断穿须三段泥页岩, 则会破坏须二段储层的封盖条件, 造成天然气逸散。



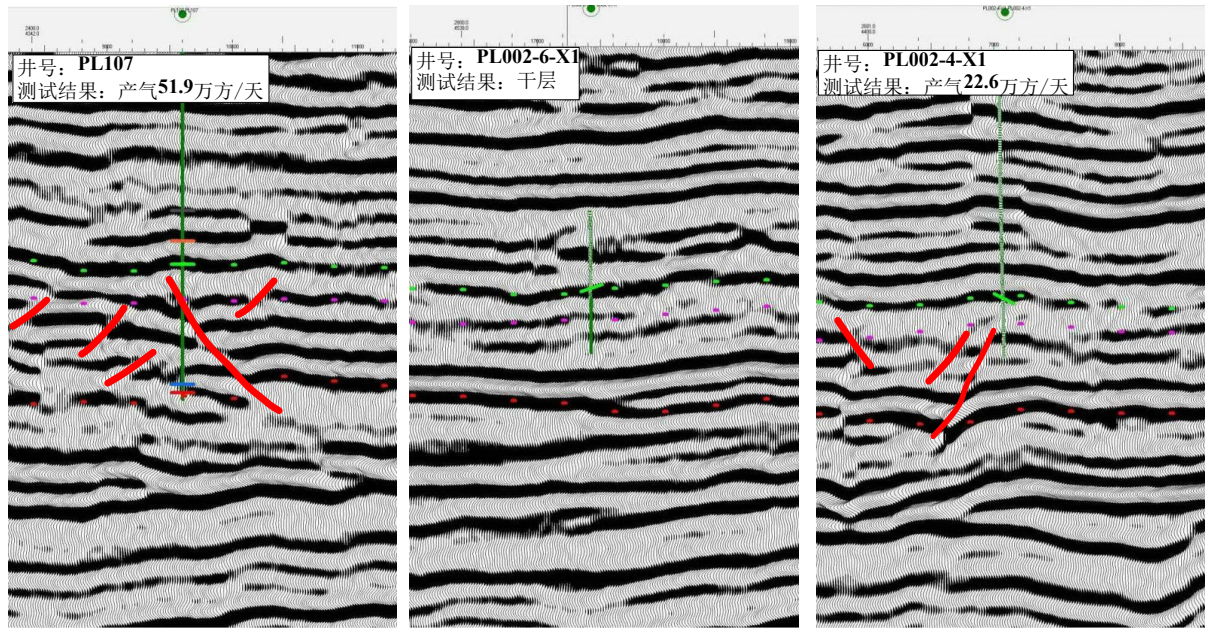


Figure 5. Seismic profiles of drillings with different test results in second member of Xujiahe formation  
图 5. 须二段不同测试结果钻井地震剖面图

### 4.3. 裂缝

裂缝的发育对致密储层物性的好坏对能否形成高产气藏具有很强的控制作用[14] [15] [16] [17] [18]。研究区须二段储层致密化严重，良好的储渗体可以形成类似于“岩性圈闭”的有利天然气富集带。研究表明，裂缝的发育程度对储层物性乃至天然气富集具有重要影响。

Table 1. Histogram of physical property of samples with different developing degree of fractures/cracks  
表 1. 不同裂缝/裂纹发育程度样品物性分布表

类型	孔隙度(%)	渗透率(mD)	类型	孔隙度	渗透率率
裂纹很发育	6.26~9.17/7.41(13)	0.24~1.35/0.57(10)	裂缝发育	7.03~7.92/7.44(5)	0.65~4.99/2.62(3)
发育	7.03~7.89/7.46(2)	2.22~4.99/3.61(2)	少量裂缝	5.42~9.57/4.6(6)	0.17~1.35/0.64(4)
裂纹无+少量	0.98~9.5/6.15(11)	0.01~0.25/0.16(9)	无裂缝	0.98~9.1/6.49(15)	0.01~0.74/0.28(14)

注：最小值~最大值/平均值(样品数)。

通过镜下薄片观察结合物性实验分析可知，不同裂缝(裂纹)发育程度的储层，其物性条件具有明显差异(见表 1)。如图 6 所示，发育裂缝或裂纹的储层，其渗透率条件要明显优于裂缝或裂纹发育较差的储层。由表可知，裂纹或裂缝的发育程度对孔隙度的改善作用有限，如裂纹发育的样品其孔隙度均值为 7.46%，而裂纹发育程度低的样品孔隙度均值为 6.15%，仅相差 1% 左右，但渗透率则相差数倍。而渗透率的提高对油气的运移富集以及后期的开采均具有重要的意义。

裂缝发育的程度与单井产气量也具有较为明显的关系。根据孔隙特征差异，将单井产层段储层划分为孔隙型储层和裂缝-孔隙型储层，并分析哪种类型储层对产气贡献较大。由图 7 可以看出，单井产气量与裂缝-孔隙型储层的厚度相关性较强，相关系数可达 0.54。而产气量与孔隙型储层的厚度相关性则较弱，仅为 0.27 左右，说明裂缝-孔隙型储层对产量的贡献更大，裂缝对天然气富集具有明显的控制作用。

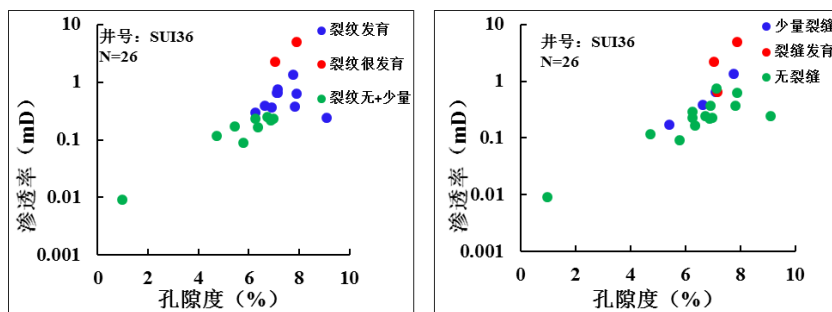


Figure 6. Relevance of porosity and permeability of samples with different developing degree of fractures/cracks

图 6. 不同裂缝/裂纹发育程度样品孔渗相关性

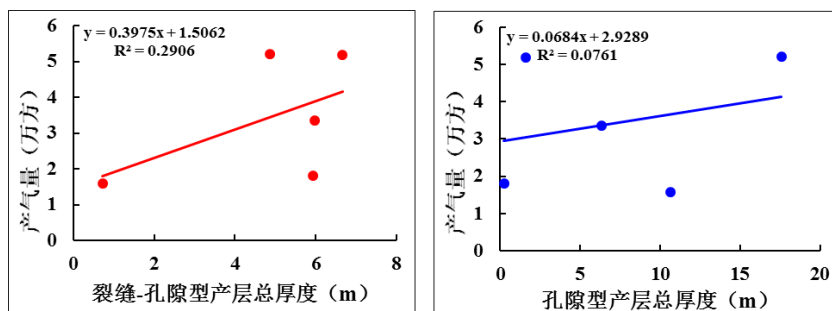


Figure 7. Histogram of pore types of reservoirs in second member of Xujiahe formation

图 7. 不同储层类型厚度与产量相关性图

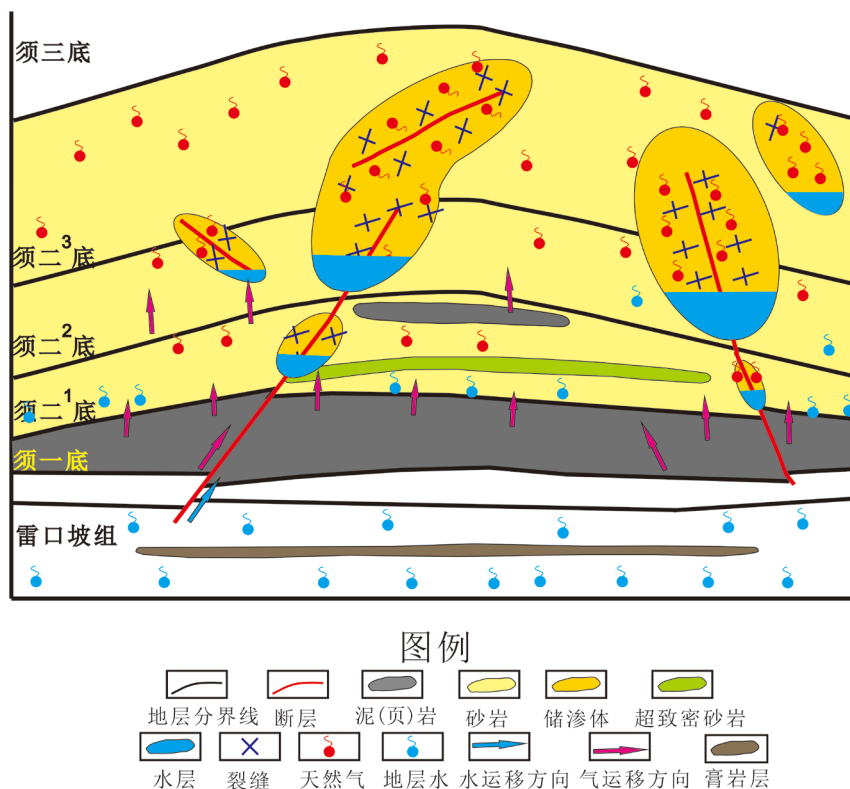


Figure 8. The accumulation model of natural gas in second member of Xujiahe formation

图 8. 须二段天然气聚集模式图

#### 4.4. 富集模式

综合天然气富集的主要控制因素及典型气藏解剖, 总结建立了研究区须二段的天然气富集模式(图 8), 即在须二段整体富砂的背景下, 发育下部断至须一段烃源岩或雷口坡组的烃源断层, 上部未断穿须三段盖层的大型断层, 且须二段内部断裂发育, 有效储渗体规模较大的构造高部位[19], 是天然气高效富集的有力位置, 易于形成工业气藏。

#### 5. 结论

1) 蓬莱地区须二段储层属于超致密储层, 储集空间以粒内溶孔为主, 发育孔隙型及裂缝-孔隙型两种储层类型。

2) 须二段天然气富集受砂体、断层及裂缝三个要素影响。砂体的发育程度决定天然气富集的丰度, 是形成工业气藏的重要条件; 断层发育的规模影响生储盖组合的好坏, 是能否成藏的关键因素; 裂缝发育的范围决定了有效储渗体的分布范围, 影响圈闭的发育规模。

3) 在断层与生储盖组合的合理配置的前提下, 进行裂缝发育展布的精确预测, 叠合大规模砂体的分布, 是蓬莱地区须二段下一步天然气勘探的有利方向。

#### 参考文献

- [1] 赖锦, 王贵文, 王书南, 等. 川中蓬莱地区须二段和须四段储层孔隙结构特征及影响因素[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 927-938.
- [2] 李新豫, 欧阳永林, 包世海, 等. 四川盆地川中地区须家河组气藏地震检测[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(2): 2207-2215.
- [3] 王昱翔. 川中地区须家河组气藏类型、分布及富集规律[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学能源学院, 2013.
- [4] 赖锦, 王贵文. 川中蓬莱地区须二段气藏特征及有利含气区预测[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(5): 43-49.
- [5] 赖锦, 王贵文, 郑懿琼. 川中蓬莱地区须二段储层岩性岩相类型及解释方法[J]. 断块油气藏, 2013, 20(1): 33-37.
- [6] 赵文智, 王红军, 徐春春, 等. 川中地区须家河组天然气藏大范围成藏机理与富集条件[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 146-157.
- [7] 赵文智, 王红军, 徐春春, 等. 四川盆地上三叠统须家河组气藏类型与富集高产主控因素[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 1037-1045.
- [8] 张凤奇, 张凤博, 钟红利, 等. 鄂尔多斯盆地甘泉南部延长组长 7 致密油富集主控因素[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(3): 12-19.
- [9] 唐大海, 王小娟, 陈双玲, 等. 四川盆地中台山地区须家河组致密砂岩气藏富集高产主控因素[J]. 天然气地球科学, 2018, 29(11): 1575-1584.
- [10] 王威, 黄曼宁. 元坝地区须家河组致密砂岩气藏富集主控因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2016, 40(3): 266-273.
- [11] 黎华继, 周文雅, 代平, 等. 川西拗陷致密砂岩气藏类型及其高产富集模式[J]. 天然气勘探与开发, 2018, 41(2): 7-14.
- [12] 李忠平, 冉令波, 黎华继, 等. 窄河道远源致密砂岩气藏断层特征及天然气富集规律——以四川盆地中江气田侏罗系沙溪庙组气藏为例[J]. 地质勘探, 2016, 36(7): 1-7.
- [13] 唐宇, 吕正祥, 叶素娟, 等. 成都凹陷上侏罗统蓬莱镇组天然气运移特征与富集主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 281-287.
- [14] 曹环宇, 王威, 刘明. 川东北通南巴构造带须家河组裂缝特征[J]. 新疆石油地质, 2018, 39(4): 424-429.
- [15] 董霞, 陈骁, 刘殊. 川东北马路背地区裂缝对须二段储层的影响[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(2): 215-223.
- [16] 仇鹏, 牟中海, 蒋裕强, 等. 裂缝性储层的地震响应特征——以川中地区致密砂岩储层为例[J]. 油气田开发, 2011, 29(3): 49-55.



- 
- [17] 李虎, 秦启荣, 范存辉, 等. 川东北元坝中部地区须家河组致密储层裂缝特征及成因探讨[J]. 油气藏评价与开发, 2018, 8(2): 1-6.
- [18] 曾联波, 李跃纲, 王正国, 等. 川西南部须二段低渗透砂岩储层裂缝类型及其形成序列[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(2): 194-200.
- [19] 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.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)