

# Study on the Fluid Migration of the Bubble Sandstone in the Section of the Main Temple in the West of Sichuan Basin

Lingchuan Li, Jie Liang, Yao Gao\*, Xiaoming Wang

State Key Laboratory of Oil and Gas Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: \*1823589868@qq.com

Received: Oct. 28<sup>th</sup>, 2016; accepted: Nov. 15<sup>th</sup>, 2016; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

---

## Abstract

The direction and law of fluid migration is an important part of oil and gas migration methods and paths, only to establish the migration model, which is more effective in guiding oil and gas exploration. The study area is the bubble sandstone of the Mingshan formation in the north-west Wing of the Ma Linyan syncline, and lithologic characteristic is sandstone and mudstone layer for alternating beds, with red brick's middle-thick layer sandstone in the syncline wing, interbedded with thin mudstone; and the brick red mudstone in core location of syncline, intercalated with siltstone and fine sandstone. The migration pattern of pore fluid in the Mingshan formation is not clear in internal syncline, through the analysis of the mudstone fracture filling characteristics and elements, we can understand the relationship between the fracture and the fluid, and studied the traces of fluid migration, we can realize the fluid migration times and migration laws, to establish a fluid transport model in the mudstone in syncline. Research shows that the fracture of mudstone layer in this region is the overall development, and fluid migration regularity is that the stress of syncline wing formation is smaller, less cracks, bedding direction of fluid migration; the stress distribution of crack in the middle syncline is big and arachnoid, fluid migration along the arachnoid channel; core formation stress is large and concentrated, cracks show in the cross shaped, and the fluid migration along cross shaped crack channel.

## Keywords

Mingshan Formation, The Bubble Sandstone, Crack, Migration Phase, Fluid Migration

---

\*通讯作者。

# 川西地区川主庙剖面泡砂岩中流体运移规律研究

黎凌川, 梁 杰, 高 耀\*, 王小明

成都理工大学油气地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都

Email: \*1823589868@qq.com

收稿日期: 2016年10月28日; 录用日期: 2016年11月15日; 发布日期: 2016年11月18日

## 摘 要

流体的运移方向及规律是研究油气运移方式及路径的重要内容, 只有对流体运移方向及规律建立起运移模型, 从而更有效指导油气勘探。此次研究区为马林岩向斜北西翼的名山组泡砂岩层, 岩性特征为砂岩层与泥岩层交替出现的互层, 向斜翼部以砖红色中-厚层砂岩为主, 夹薄层泥岩; 向斜核部的位置泥岩层以砖红色泥岩为主, 夹粉砂岩和细砂岩。由于名山组泡砂岩孔隙流体在向斜内部的运移模式还没有不太清楚, 通过对泥岩层裂缝充填物特征研究和元素分析, 了解裂缝与流体之间的关系, 进行流体运移痕迹研究, 得出流体运移期次和运移规律, 从而来建立流体在向斜泥岩层中的运移模型。研究表明, 该区泥岩层中裂缝整体较发育, 流体运移呈现出规律性: 向斜翼部地层应力较小, 裂缝发育较少, 流体做顺层方向运移; 向斜中部所受应力较大, 裂缝分布呈蜘蛛网状, 流体沿着蜘蛛网状通道运移; 核部地层应力大且集中, 裂缝发育呈十字状, 流体沿十字状裂缝通道运移。

## 关键词

名山组, 泡砂岩, 裂缝, 运移期次, 流体运移

## 1. 引言

油气由于其具有流动性的特点, 决定了油气藏在时空分布与演化的过程复杂多变, 并且油气运移是一个动态过程, 在勘探开发中很难获得油气运、聚的痕迹[1]。长期以来, 油气运移过程中的运、聚、散过程的重要性一再为人们强调, 但至今对于油气运移规律的研究仍是油气地质理论研究和实际应用的薄弱环节[2]。

关于石油运移的机理、运移路径的识别方法的研究已经有 80 多年。在 20 世纪 80 年代以前, 油气运移的研究主要归属于定性实验、机理认识和有机地球化学中油-源对比的范畴内[3] [4] [5]。王密尔斯[4]在 1921 年用各种粒度的砂岩岩样进行油气运移实验, 研究孔喉大小对流体运移的影响; 其后陆续有学者进行石油在背斜、向斜、断层等典型构造中的运移实验[5]。20 世纪 80 年代以后, 油气运移的研究呈多样式发展, 除地球化学外, 其理论、物理实验和数值模拟等方面都得到很大发展[6] [7] [8] [9] [10]。周波[7]通过数值模拟分析得出达西渗流理论适用于稳定模式下油气运移过程, 逾渗理论适用于指进式和优势式模式下的油气运移, 流体势理论任何模式下油气运移均适用; 罗元华等[9]认为巨厚岩层中流体运移主要受岩层本身渗透性和应力差异控制, 同时附加应力会差异会改变渗透性, 从而影响流体运移方向; 葛云龙等[10]认为在构造应力场作用下, 弱破裂强度带成为应力集中带, 即使尚未破裂变形, 只有已处于扩容状态, 就可能成为相对低流体势带, 从而成为流体运移的指向。

为了解川主地区名山组泡砂岩孔隙流体在向斜内部的运移模式, 通过裂缝及充填物特征认识, 利用

原子吸收光谱进行元素分析, 根据结果进行反演其形成过程, 推测该区地层内流体运移的优势通道与流体化学性质的变化, 从而更清楚地认识该区的流体运移规律。

## 2. 区域地质概况

川西盆地也称龙门山前陆盆地, 位于青藏高原松潘甘孜构造带东缘龙门山前陆地带, 是四川盆地的一部分(图 1), 呈 NE-NNE 走向, 西以彭灌大断裂为界, 东至龙泉山 - 九龙山一线, 北起广元, 南达天全, 南北长约 570 km, 东西宽约 100 km, 平面上大致以白垩系出露界线为界[11] (图 1)。

在地质历史上, 川西盆地大致经历了 4 个主要发展阶段: 1) 自震旦纪(Z)至中三叠世(T<sub>2</sub>), 此阶段表现为稳定克拉通海盆发展时期, 沉积的地层主要有黄龙组、河渊组、茅口组、栖霞组、梁山组、长兴组、龙潭组、飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组等; 2) 三叠中晚期为海陆交互相断陷湖盆发育时期, 盆地主体开始隆升, 由海变陆, 此时川西盆地属海陆交互相断陷盆地沉积。3) 自须家河四段(T<sub>3</sub>x<sup>4</sup>)至中侏罗纪(J<sub>2</sub>), 川西盆地进入拗陷盆地发育时期, 沉积表现为大范围的板状沉积体。4) 自晚侏罗纪(J<sub>3</sub>)至第四系(Q), 川西盆地进入前陆盆地发展时期, 此阶段沉积的地层主要有遂宁组、蓬莱镇组、剑门关组、汉阳铺组、剑阁组、灌口组、夹关组、名山组、和芦山组等[11]。

沉积上, 该区通过野外剖面实测观察情况来看, 剖面核部以砖红色 - 紫红色泥岩为主, 夹粉砂岩及细砂岩, 砂岩粒度较细, 分选较好, 反映出其沉积水体能量低, 砂岩颜色为砖红色 - 紫红色, 反映出其沉积时处于氧化环境。结合名山组之上的凉水井组属于河流相沉积, 因此可以认为剖面核部属于河流相过渡的滨湖沉积。剖面翼部中 - 厚层块状砂岩为主, 夹薄层泥岩, 可见到灰质条带与石膏充填, 结合名山组下覆地层灌口组的咸化湖泊沉积环境, 认为属于半咸化湖泊中的浅湖沉积[12] [13]。

川西地区川主庙剖面古近纪“泡砂岩”是一套沉积较晚、埋藏较浅且成岩作用较弱的砂岩, 具有高孔高渗的特征, 根据实测剖面岩样薄片镜下观察和统计分析, 该区样品中最高渗透率达到了  $702 \times 10^{-3} \text{um}^2$ , 平均渗透率为  $253.92 \times 10^{-3} \text{um}^2$ ; 最高孔隙度达到了 26.51%, 平均孔隙度达 17.28%。然而该区孔隙分布并不均匀, 层间渗透率也有较大差异, 呈现出较强的非均质性。

## 3. 裂缝及充填物特征

研究区域内由于砂岩疏松易碎, 裂缝在砂岩层基本不发育, 主要发育在泥岩层内。根据其形态和充填情况, 将泥岩层中的裂缝分为三种类型: 微 - 薄层无裂缝或有裂缝充填物较少(见图 2(a)); 薄-中层有裂缝且充填物呈蜘蛛网状分布(见图 2(b)); 中 - 厚层有裂缝且充填物呈十字状分布(见图 2(c))。

图 2(a)为远离向斜核部的北西翼一侧的泥岩层, 层中裂缝不发育, 且裂缝中无充填或少充填; 图 2(b)是向斜中部位置的泥岩层, 裂缝发育且呈蜘蛛网状分布, 充填物完全充填; 图 2(c)是向斜核部位置的泥岩层, 裂缝非常发育且呈十字状分布, 充填物完全充填。

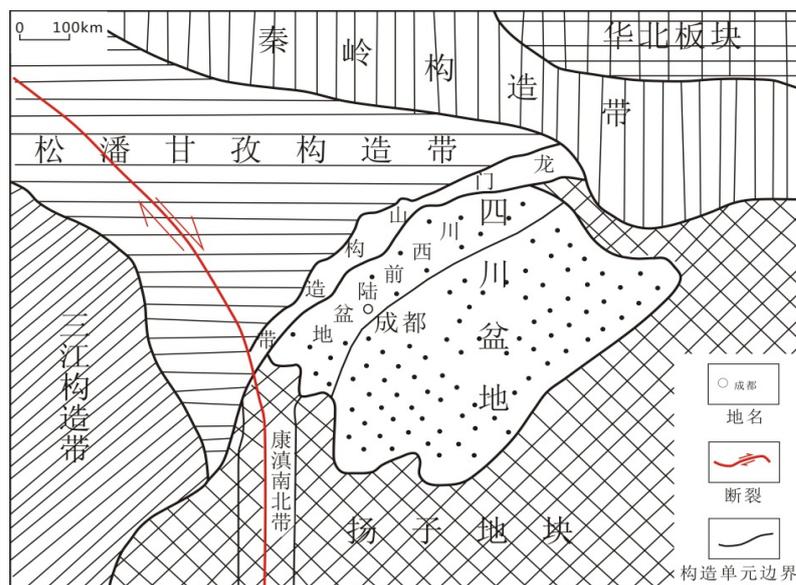
裂缝中充填物类型主要为石膏和方解石, 晶形完好(见图 3)。充填物完全充满裂缝, 其宽度与泥岩层厚度有关, 泥岩层越厚, 裂缝宽度越大, 充填物的宽度也越大。

通过以上对该区裂缝及充填物的分析, 其特征总结如下(表 1)。

通过对十多个泥岩层充填物做原子吸收光谱分析, 充填物的元素组成有几十种, 但主要元素为 Al<sup>3+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ba<sup>2+</sup>等十种离子, 主要元素的含量大小(见表 2, 标本号数字从小到大的指示向斜翼部到核部)。

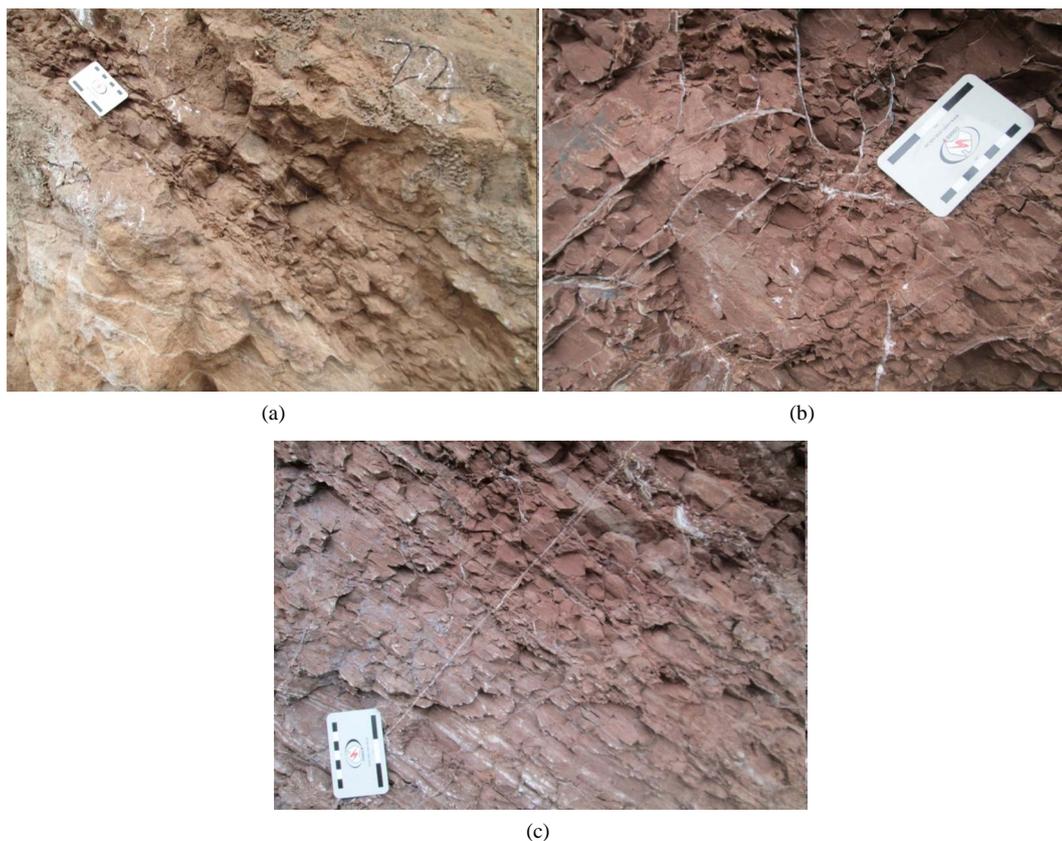
## 4. 流体运移期次的研究

研究流体运移的期次对油气成藏有重要意义, 前人对油气运移期次判断的方法也有多种, 例如: 流



**Figure 1.** The plane position map of Western Sichuan Basin (According to Li Zhongquan et al. 2011, there are modifications)

**图 1.** 川西盆地平面位置略图(据李忠权等, 2011, 有修改)



**Figure 2.** Fracture morphology in first type mudstone (measured fifteenth layer, mirror South East) (a), fracture morphology in second type mudstone (measured thirty-eighth layer, mirror South East) (b), fracture morphology in third type mudstone (measured fifty-fourth layer, mirror Xiang Nandong) (c)

**图 2.** 第一类泥岩层中裂缝形态(实测第 15 小层, 镜向南东) (a)、第二类泥岩层裂缝形态(实测第 38 小层, 镜向南东) (b)、第三类泥岩层裂缝形态(实测第 54 小层, 镜向南东) (c)



**Figure 3.** Calcite grains (measured forty-fourth layer, mirror South East) (a) and gypsum fillings (measured forty-eighth layer, mirror South East) (b) in mudstone fractures

**图 3.** 泥岩裂缝中方解石晶粒(实测第 44 小层) (a)和石膏充填物(实测第 48 小层) (b)

**Table 1.** Characteristics of fracture and filling materials

**表 1.** 裂缝及充填物特征

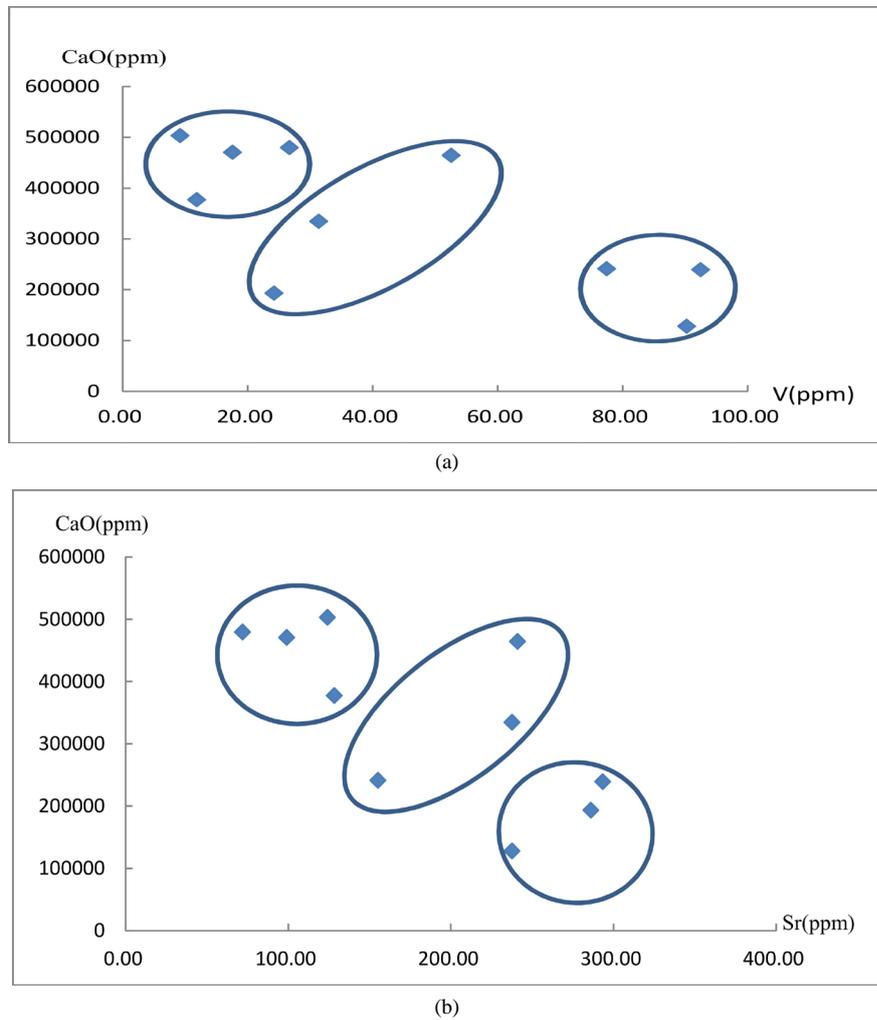
裂缝类型	裂缝位置	层厚	裂缝是否发育	裂缝形态	有无充填物	充填物类型
第一类	翼部	微-薄层	不发育	线形	无或很少	
第二类	中部	薄-中层	较发育	蜘蛛网状	有	石膏、方解石
跌三类	核部	中-厚层	发育	十字状	有	

**Table 2.** Main trace element contents (unit: ppm)

**表 2.** 主要微量元素含量表(单位: ppm)

元素	样本	V	Cr	Zn	Sr	Ba	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O
	25B1	17.61	25.96	10.42	99.13	760.63	14,626.8	470,424	2842.74	5788.5	1042.44
	35B1	26.73	15.43	7.28	71.94	302.44	10,271.4	479,298	1781.94	4875.6	1047.54
	38B1	9.20	12.87	8.77	124.28	152.92	5659.98	502,962	1388.22	2918.22	938.196
	42B1	77.46	45.96	66.74	155.25	279.13	86,520	241,080	18,145.8	34,345.5	4609.44
	46B1	24.25	16.93	38.81	286.13	55,874.89	20,859	193,290	3543.48	7532.7	843.912
	48B1	11.85	14.82	25.82	128.46	974.87	46,899.6	377,094	2905.98	18,007.5	1564.92
	50B1	52.60	17.33	20.90	241.01	909.70	20,685	464,205	4019.82	9623.25	1542.24
	52B1	92.51	36.54	49.88	293.47	2509.84	77,752.5	239,085	16,646.4	23,604	6258.6
	55B1	31.40	23.44	28.08	237.60	579.52	50,967	334,215	10,261.2	15,067.5	6691.68
	57B1	90.27	54.11	59.52	237.66	1174.77	114,555	127,785	25,806	34,303.5	9000.72

体包裹体分析法、碳同位素分析法、储层沥青反射率分析法等[14][15][16]。本次研究流体运移期次的方法主要是根据不同层位中同种元素含量差异明显，则表明不是同一期流体充注的，从而流体中主要微量元素在不同层位的含量变化来划分流体期次。据此在主要微量元素含量表中(表 1)，V、Sr、CaO 这三种元素在不同层位的含量变化明显，故而做出 V 和 CaO、Sr 和 CaO 散点交会图(见图 4)，作图后可以明显分出聚集区域。



**Figure 4.** The intersection point map of CaO-V (a) and CaO-Sr (b)  
**图 4.** CaO-V 含量交会散点图(a)和 CaO-Sr 含量交会散点图(b)

图中看出研究区内流体运移过程可以分为三个期次:第一个期次 Ca 含量变化在 350,000~500,000 ppm, V 含量变化在 8~22 ppm, Sr 含量变化在 70~120 ppm; 第二个期次 Ca 含量变化在 250,000~450,000 ppm, V 含量变化在 22~48 ppm, Sr 含量变化在 150~250 ppm; 第三个期次 Ca 含量变化在 100,000~220,000 ppm, V 含量变化在 75~90 ppm, Sr 含量变化在 250~300 ppm。

通过上述方法划分出流体的运移期次,但是却无法分出流体运移期次的先后次序。不过分析出流体的运移期次,便于进一步了解流体运移的过程中每一期次的运移情况,从而利于对油气运移路径与方法的认识。

## 5. 流体运移规律

流体的运移是受到构造应力的作用,构造应力的方向和大小决定了裂缝的发育,同时决定了流体的移动[17][18][19][20]。该区向斜下部的泥岩层中裂缝不发育,而在中上部的泥岩层中裂缝发育,说明裂缝是在成岩后期的构造运动中形成的,不是随沉积伴生的。在该区可见岩层中矿物都充填于裂缝中,且未见断开的充填物,说明流体运移发生在裂缝形成之后,否则若发生在裂缝形成之前,那么流体运移后析出的矿物脉会被断开。另外有少数裂缝没有充填物是由于流体未经过。据此,流体运移规律与裂缝的

发育形成过程有关。

为了更清楚的认识构造应力对裂缝的形成和流体运移产生的影响, 根据向斜构造形成之初和向斜构造形成早期的应力变化来展示构造应力变化, 做出了相应的应力模式图(见图 5、图 6)。

上面模式图 5 到模式图 6 的向斜形成过程中看出, 岩层在垂直方向上的应力  $\sigma_2$  和水平方向上的应力  $\sigma_1$  作用下发生挤压变形, 岩层也在应力作用下发生破裂形成裂缝, 之后流体发生运移经过裂缝, 其内部的矿物在层间裂缝中过饱和而析出形成充填物保存下来。

在向斜核部位置, 地层应力较大且集中, 水平应力  $\sigma_1$  和垂直应力  $\sigma_2$  作用方向大致垂直, 使得岩层破裂的裂缝呈现十字状, 之后流体运移经过时, 其内部的硫酸盐矿物和碳酸盐矿物就会在层间裂缝中过饱和而形成十字状充填物。在翼部位置, 岩层受到的垂直应力  $\sigma_2$  较小, 主要受水平应力  $\sigma_1$  的影响, 使得裂缝发育很少, 流体沿层面发生运移, 硫酸盐、碳酸盐矿物在裂缝中经过时很难达到过饱和而析出, 所以很难在运移通道上形成充填物, 使得在向斜翼部泥岩层中有较少的充填物。在中部位置, 水平应力  $\sigma_1$  受到垂直应力  $\sigma_2$  的影响, 岩层发生破裂形成裂缝, 并且该位置处应力方向较分散, 使得形成裂缝形成呈蜘蛛网状, 之后流体运移形成无规则的蜘蛛网状充填物。

## 6. 结论

该地区泥岩层中裂缝整体较发育, 在向斜翼部裂缝发育不明显且沿顺层方向分布, 少充填或无充填;

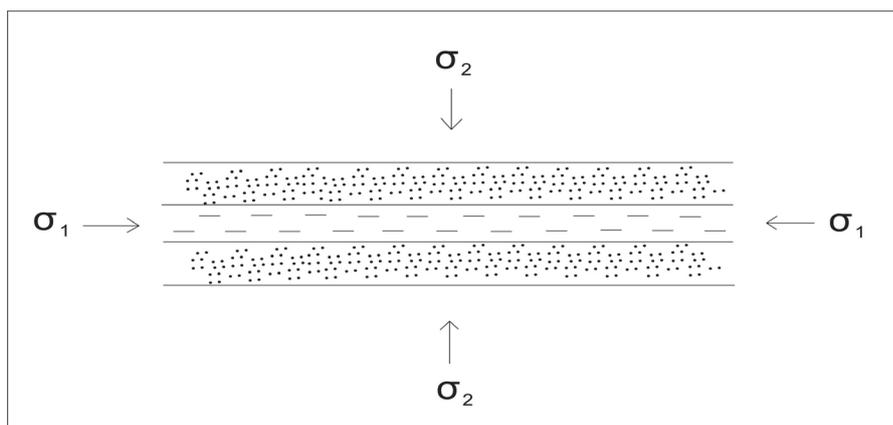


Figure 5. The stress direction pattern at the beginning of syncline structure form

图 5. 向斜构造形成之初的应力方向模式图

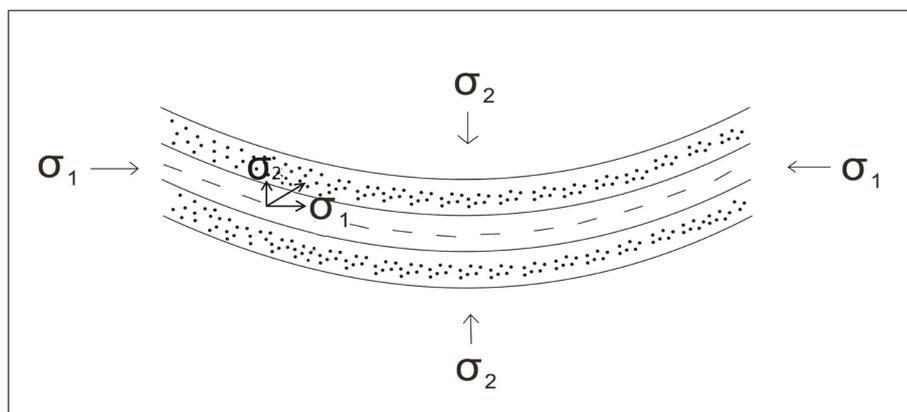


Figure 6. The stress direction pattern in the early stage of syncline structure form

图 6. 向斜构造形成早期的应力方向模式图

向斜中部裂缝较发育，为蜘蛛网状的不规则状态，裂缝被完全充填；向斜核部裂缝很发育且其分布形态呈十字状，裂缝被完全充填。

流体沿裂缝通道运移时的运移规律：在向斜翼部位置，地层应力较小，流体做顺层方向运移；向斜中部地层所受应力较大，流体沿着裂缝呈蜘蛛网状通道运移；在核部附近，地层应力大且集中，流体发生串层运移，沿着十字状裂缝通道运移。

## 参考文献 (References)

- [1] Magoon, L.B. and Dow, W.G. (1994) The petroleum System. In: Magoon, L.B. and Dow, W.G., Eds., *The Petroleum System—From Source to Trap*, AAPG Memoir, **60**, 3-22.
- [2] Schowalter, T.T. (1979) Mechanics of Secondary Hydrocarbon Migration and Entrapment. *AAPG Bulletin*, **63**, 723-760.
- [3] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 第二版. 北京: 北京石油工业出版社, 1994.
- [4] Emmons, W.H. (1921) Experiments on Accumulation of Oil in Sands. *AAPG Bulletin*, **5**, 103-104.  
<https://doi.org/10.1306/3D932569-16B1-11D7-8645000102C1865D>
- [5] Illing, V.C. (1933) The Migration of Oil and Natural Gas. *Journal of the Institution of Petroleum Technologists*, **19**, 229-274.
- [6] 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11-21.
- [7] 周波, 金之钧, 王毅. 油气二次运移数值模拟分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 527-532.
- [8] 曾溅辉, 金之钧, 王伟华. 油气二次运移和聚集实验模拟研究现状与发展[J]. 石油大学学报, 1997, 21(5): 94-97.
- [9] 罗元华, 孙雄. 不同应力状态下地层渗透系数的变化及其对流体运移影响的数值模拟研究[J]. 地球学报, 1998, 19(2): 144-149.
- [10] 葛云龙, 廖保方, 李列, 等. 构造应力场与油气运移关系的研究[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 84-89.
- [11] 李忠权, 应丹琳, 李洪奎, 等. 川西盆地演化及盆地叠合特征研究[J]. 岩石学报, 2007, 27(8): 2364-2367.
- [12] 苟宗海. 四川天全、芦山、宝兴地区名山组地层特征[J]. 四川地质学报, 1992, 12(3): 201-208.
- [13] 严亮. 川西古近纪地层划分对比、沉积体系及古气候分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [14] 李才, 周东红, 吕丁友, 等. 郯庐断裂带渤东区段断裂特征及其对油气运移的控制作用[J]. 地质科技情报, 2014, 33(2): 61-65.
- [15] 陶士振, 秦胜飞. 塔里木盆地克拉 2 气藏流体包裹体与油气充注运移期次[J]. 石油试验地质, 2002, 24(5): 437-445.
- [16] 吴楠, 刘显凤, 徐涛. 油气运移路径示踪研究[J]. 特种油气藏, 2007, 14(3): 28-31.
- [17] 贾东, 卢华复, 魏东涛, 等. 断弯褶皱和断展褶皱中的油气运移聚集行为[J]. 南京大学学报, 2002, 38(6): 747-755.
- [18] 孙雄, 洪汉净, 马宗晋. 构造应力作用下流体运动的动力学分析[J]. 地球学报, 1998, 19(2): 150-157.
- [19] 周波, 罗晓蓉, Loggia, D., 等. 单个裂隙中油运移实验及特征分析[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 454-458.
- [20] 解习农, 刘晓峰, 赵士宝, 等. 异常压力环境下流体活动及其油气运移主通道分析[J]. 中国地质大学学报, 2014, 29(5): 589-594.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

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