

沉积环境与构造运动对页岩气成藏的影响

——以渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系为例

林铁锋^{1,2}, 马生明^{1,2*}, 王玉岩^{1,2}, 刘鑫^{1,2}, 杨帆^{1,2}, 李昕^{1,2}

¹大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

²黑龙江省致密油与泥页岩油成藏研究重点实验室, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2022年6月23日; 录用日期: 2022年8月22日; 发布日期: 2022年9月5日

摘要

沉积环境和构造运动是决定一套岩石地层特性的关键因素。以渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系为例, 通过采样测试研究, 总结概括了沉积环境与构造运动对页岩气成藏的影响作用。结论认为: 1) 沉积环境与构造运动在页岩气成藏过程中起着决定性作用; 2) 沉积环境能够对泥页岩的岩石学特征、矿物学特征、物性特征与有机质类型及丰度等产生较大影响; 3) 构造运动能够对泥页岩的保存、有机质成熟度及储层物性特征等产生较大影响; 4) 受沉积环境和构造运动的影响, 渝东南地区下寒武统黑色岩系具备有利于页岩气成藏的地质条件。

关键词

沉积环境, 构造运动, 页岩气成藏, 渝东南地区

Sedimentary Environment and Tectonic Movement and Their Effects on Shale Gas Accumulation

—A Case Study of Black Rocks in the Lower Cambrian Niutitang, Southeast Chongqing

Tiefeng Lin^{1,2}, Shengming Ma^{1,2*}, Yuyan Wang^{1,2}, Xin Liu^{1,2}, Fan Yang^{1,2}, Xin Li^{1,2}

¹Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing Heilongjiang

²Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Shale Oil & Tight Oil Accumulation, Daqing Heilongjiang

Received: Jun. 23rd, 2022; accepted: Aug. 22nd, 2022; published: Sep. 5th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 林铁锋, 马生明, 王玉岩, 刘鑫, 杨帆, 李昕. 沉积环境与构造运动对页岩气成藏的影响[J]. 石油天然气学报, 2022, 44(3): 165-171. DOI: 10.12677/jogt.2022.443021

Abstract

Sedimentary environment and tectonic movement are the key factors to decide rock formation properties. By taking the black rocks in the Lower Cambrian Niutitang in southeast Chongqing as an example, the effects of sedimentary environment and tectonic movement on shale gas accumulation are summarized. The findings are as follows: 1) Sedimentary environment and tectonic movement plays a decisive role in the process of shale gas accumulation; 2) The sedimentary environment can have a greater impact on the petrology, shale mineralogy characteristics, physical characteristics and the type of organic matter abundance; 3) The tectonic movement can have an influence on the maturity of organic matter and reservoir characteristics; 4) Affected by the sedimentary environment and tectonic movement, there is a great geologic condition for the development of shale gas plays in the Lower Cambrian Niutitang in southeast Chongqing.

Keywords

Sedimentary Environment, Tectonic Movement, Shale Gas Accumulation, Southeast Chongqing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

沉积环境现代定义为在物理上、化学上和生物上均有别于相邻地区的一块地球表面。依据自然地理条件或地貌特征及沉积物综合特征,沉积环境一般被分为大陆环境、海陆过度环境及海洋环境三大类[1]。沉积环境直接表现为沉积作用进行的自然地理环境。

构造运动是由地球内部动力引起的地壳乃至岩石圈的变位、变形以及洋底的增生、消亡的机械作用,以及相伴随的地震活动、岩浆活动和变质作用。构造运动产生褶皱、断裂等各种地质构造,引起海、陆的轮廓变化,地壳的隆起与拗陷、山脉及海沟的形成等。

页岩气是一种典型的自身自储的连续型非常规天然气。对于页岩气藏,沉积环境反映其沉积地理环境,决定储层的综合地质特征;构造运动不仅影响页岩储层的构造形态,还在一定程度上决定了储层的地质特征。

2. 研究区选取

Liu 等[2] (2016)对中国南方页岩气发育有利区域做了研究,优选了页岩气发育有利区块,渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系为预测的页岩气成藏有利区块之一。渝东南地区牛蹄塘组与美国 Fort Worth 盆地 Barnett 页岩的成藏地质条件与构造演化历史相近,均属于古生代海相沉积盆地,且都经历了复杂的构造运动,具备页岩气成藏的必要地质条件。

鉴于美国 Fort Worth 盆地的 Barnett 页岩中页岩气开发已取得巨大成功,本次研究选择渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系具有现实意义,具有典型性与代表性。

3. 沉积环境对页岩气成藏的影响

3.1. 渝东南地区下寒武统沉积模式

重庆市地层区划分为两个 I 级地层区,五个 II 级地层分区及八个 III 级地层小区。从区域地层上看,

渝东南地区属于 $I_1 \sim II_4$ ，即扬子地层区——黔北渝南地层分区。部分或全部缺失志留统、泥盆系，大部分地区缺失石炭系，部分地区缺失中-上三叠统，大部分地区缺失侏罗纪、白垩纪及第三纪绝大部分地层。此外，新元古代及以后的地层几乎均有出露。

和 Barnett 页岩相似[3]，渝东南地区牛蹄塘组黑色岩系也沉积于安静的中-深海还原环境，其物源主要来自浅海带和斜坡带(图 1)。

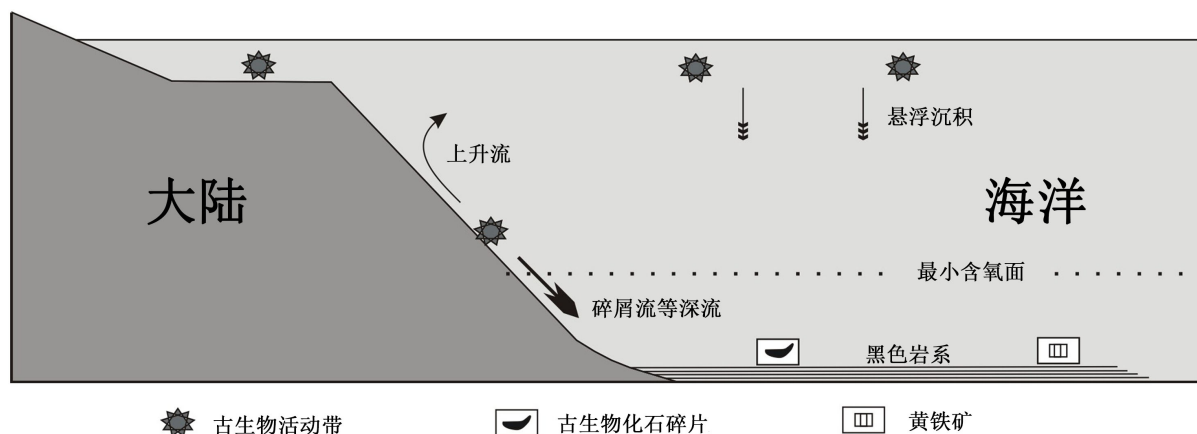


Figure 1. The series sedimentary model of black rocks in the lower Cambrian Niutitang, Southeast Chongqing

图 1. 渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系沉积模式(据 Loucks 修改)

3.2. 对页岩气成藏的影响

以渝东南地区为例，根据沉积作用发生的地理环境，沉积环境对页岩气成藏的影响主要体现在对岩石学特征、矿物学特征、物性特征与有机质类型及丰度等的影响。

3.2.1. 对岩石学特征的影响

在秀山县容溪镇，实测剖面显示，该区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系岩系主要分为四类，即黑色炭质页岩、薄层黑色含粉砂页岩、中薄层黑色含粉砂炭质页岩及黑色薄层硅质岩等四种岩性。由于沉积于静水环境，该组岩石水平层理较为发育。

3.2.2. 对矿物学特征的影响

对取至渝东南地区下寒武统牛蹄塘组的 15 个黑色页岩样品进行了矿物组分和结构的观察、分析与统计。研究发现渝东南地区黑色页岩的矿物组成较简单，主要类型及含量分布为：石英 35%~66%，平均 44.9%；长石 6.1%~20.3%，平均 11.3%。粘土矿物包括伊利石、高岭石、伊-蒙混层矿物和绿泥石，含量约为 12%~27.1%，平均 17.9%。黄铁矿含量为 6%~14.5%，平均 10.3%。黄铁矿的存在也印证了沉积环境为静水还原环境(图 2)。

矿物成分及含量对页岩气储层影响较大，按脆性矿物、粘土矿物与碳酸盐岩分类统计分析，发现脆性矿物均占绝大部分，其次分别为粘土矿物与碳酸盐岩矿物。

3.2.3. 对物性特征的影响

各种矿物的含量及种类，能够在一定程度上影响页岩储层的吸附性、孔隙度及渗透率[4]。例如，作为脆性矿物，石英和长石相对于粘土类矿物有较小的矿物比表面积，故有较小的吸附能力，但石英和长石的含量增加可提高岩石的脆性，有利于裂缝的发育；粘土矿物有较大的矿物比表面积，有较强的吸附能力。

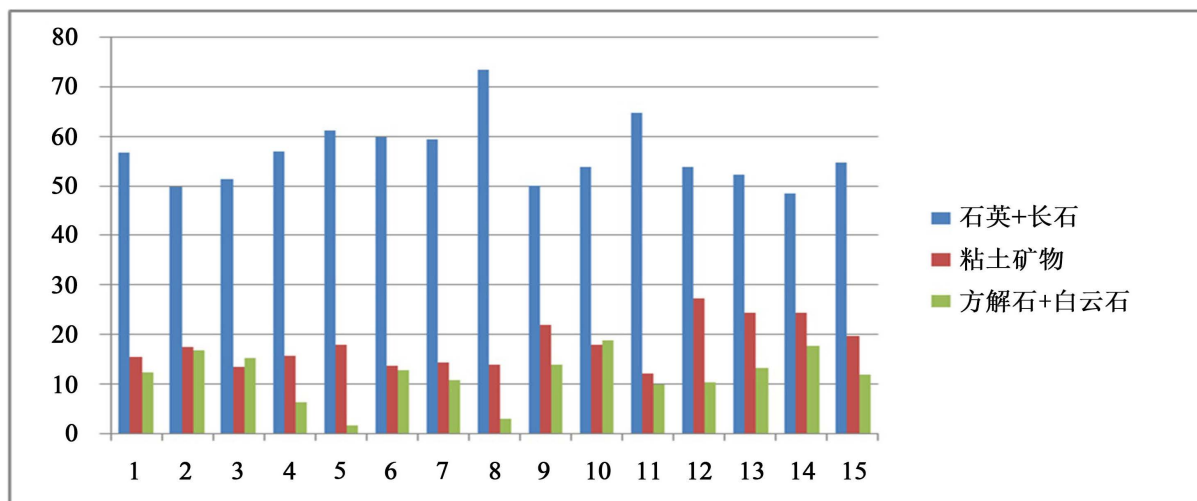


Figure 2. The mineral content statistics of black shale in the lower Cambrian Niutitang
图 2. 渝东南牛蹄塘组黑色页岩中矿物含量统计

3.2.4. 对有机质类型丰度的影响

不同的物源与沉积环境对泥页岩的有机质类型和丰度有较大影响[5]。泥页岩厚度直接关系到有机质丰度、产气量及含气量。据前人研究，渝东南牛蹄塘组黑色岩系中有机质类型均属腐泥型即 I 型，以海洋菌藻类为主的生源组合。以容溪地区为例，黑色页岩有机碳含量为 7.9%~13%，平均为 10.1%，属于好的烃源岩。

4. 构造运动对页岩气成藏的影响

4.1. 渝东南地区下寒武统构造运动

渝东南地区所处的上扬子地块的形成和演化，是在中国南方晋宁运动形成的前震旦系基础上发育起来的，可概括为原型盆地演化及强烈变形演化两大阶段[6]，具体可分为加里东运动、海西-印支运动、燕山运动及喜马拉雅运动等四大运动(图 3)。

加里东运动(图 3(a))的完成，标志着中国南方完成了板块拼合，形成了统一的华南板块。该时期，渝东南区域无造山作用。

海西期开始出现造山运动(图 3(b))，但真正改变中国南方构造格局的是印支运动。印支运动是古特提斯盆地向新特提斯构造转折的时期，它使渝东南地区基本结束了海相沉积环境，出现海陆转换，全区大部分抬升为陆[7]。不过，印支运动结束时，渝东南地区还没有出现明显的褶皱。

燕山运动(图 3(c))是受库拉、太平洋板块 NNW 向快速向亚洲及我国东部大陆之前俯冲作用引起，该时期我国东部地区表现为强烈的冲断构造和左旋走滑。该时期，渝东南地区处在压性构造环境，发生了强烈的冲断、褶皱和抬升剥蚀。该时期使渝东南地区彻底结束了海相沉积环境，全区抬升为大陆。

喜马拉雅运动是中国南方地区一次新的造山运动，但渝东南地区内褶皱轻微，仅以隆升作用为主，使该地区在燕山运动时期得到进一步抬升和侵蚀[8]。

经过以上四个时期的作用，渝东南地区最终形成了以 NE-SW 向为主的褶皱群(图 4)。背斜中常发育 Y 字型断裂，其主干多数深达基底。

4.2. 对页岩气成藏的影响

构造运动对页岩气成藏的泥页岩的保存、有机质成熟度及储层物性能够产生较大影响。

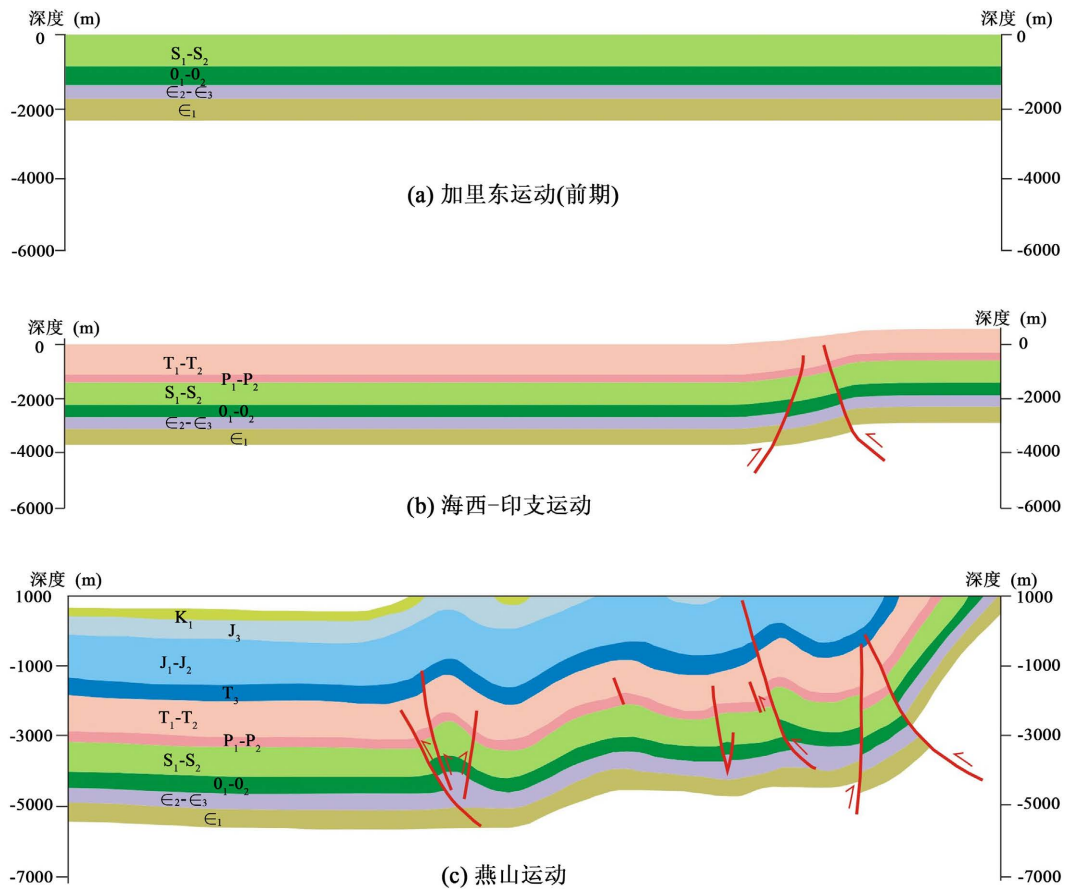


Figure 3. Structural features of each period of Southeast Chongqing
图 3. 各时期渝东南地区构造特征

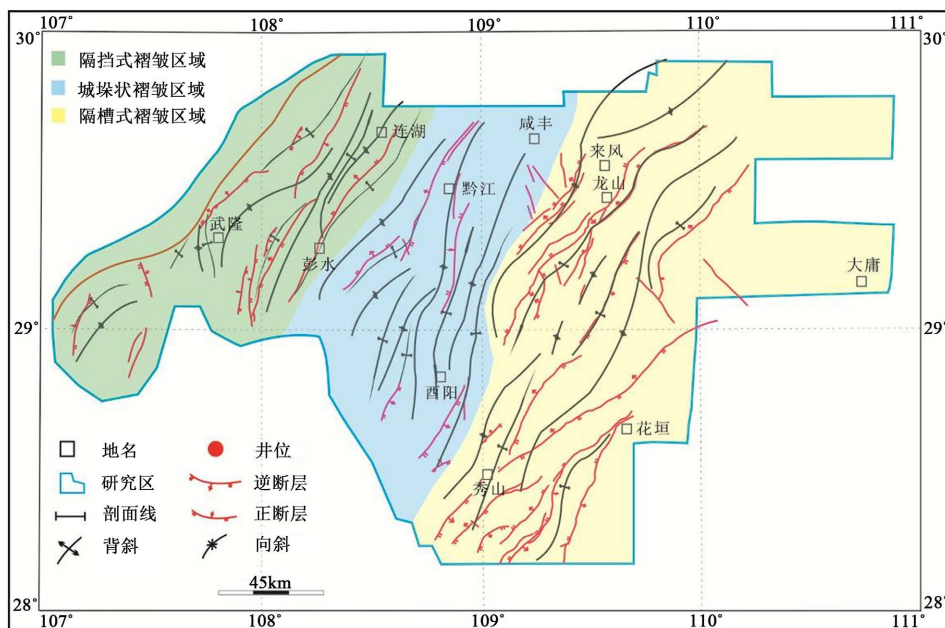


Figure 4. Tectonic outline map of Southeast Chongqing
图 4. 渝东南地区构造纲要图

4.2.1. 对泥页岩的发育与保存的影响

泥页岩是页岩气产生并存储的岩石层位，其保存完好度是能否形成页岩气聚集的首要条件。

在燕山早期运动前，渝东南地区没有强烈的造山运动，主要以隆升为主，由此形成大型隆起和坳陷，使该区域内的泥页岩保存较为完好[9]，没有遭受大面积剥蚀。

4.2.2. 对有机质成熟度的影响

以渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系为例，其在印支运动晚期、燕山运动早期被进一步深埋，其在凹陷内的埋深超过 5000 米，在隆起上的埋深也超过 3500 米。这样的埋深使得该组泥页岩达到了高度演化。

在渝东南秀山、酉阳地区取样测试，牛蹄塘组黑色页岩 R_0 值为 3.34%~5.11%，平均为 4.08%，普遍大于 2%，处于高-过成熟阶段。进入高过成熟演化阶段，且以生干气为主。

4.2.3. 对储层物性的影响

泥页岩中孔缝发育程度，不仅影响页岩气才存储，还影响页岩气的开采。孔缝太发育，页岩气不易保存，孔缝发育程度太低，又不利于页岩气开采。

构造运动对泥页岩裂缝的发育起着至关重要的作用。据龙鹏宇等[10] (2012)对渝页 1 井的研究，渝东南地区泥页岩中构造裂缝普片发育，主要表现为张剪性缝、层间页理缝合层面滑移缝，且在各断层点附近最为发育。本次研究在渝东南溶溪地区采样研究，也发现了一些构造成因裂缝的证据(图 5)。

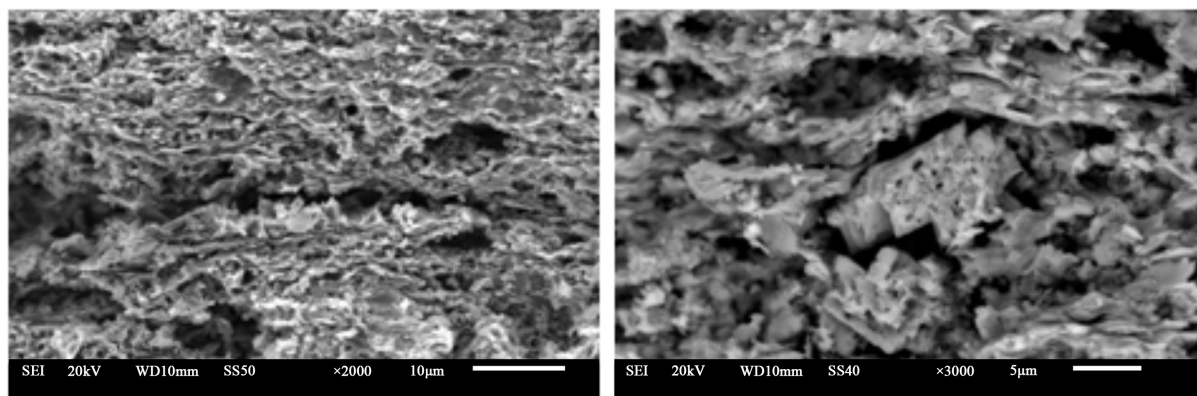


Figure 5. Tectonic origin cracks in black shale in Rongxi, Southeast Chongqing

图 5. 渝东南溶溪地区黑色页岩中发育的构造成因缝隙

5. 结论

以渝东南地区下寒武统牛蹄塘组黑色岩系为例进行研究，沉积环境及构造运动对页岩气成藏的影响得以明确。结论如下：

- 1) 沉积环境与构造运动在页岩气成藏过程中起着决定性作用；
- 2) 沉积环境能够对泥页岩的岩石学特征、矿物学特征、物性特征与有机质类型及丰度等产生较大影响；
- 3) 构造运动能够对泥页岩的保存、有机质成熟度及储层物性特征等产生较大影响；
- 4) 受沉积环境和构造运动的影响，渝东南地区下寒武统黑色岩系具备有利于页岩气成藏的地质条件。

参考文献

- [1] 杨振恒, 李志明, 王果涛, 等. 北美典型页岩气藏岩石学特征、沉积环境和沉积模式及启示[J]. 地质科技情报,

- 2010, 29(6): 59-65.
- [2] Liu, J., Yao, Y.B., Elsworth, D., *et al.* (2016) Sedimentary Characteristics of the Lower Cambrian Niutitang Shale in the Southeast Margin of Sichuan Basin, China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **36**, 1140-1150. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.03.085>
- [3] 陈一鸣, 魏秀丽, 徐欢. 北美页岩气储层孔隙类型研究的启示[J]. 复杂油气藏, 2012, 5(4): 19-22.
- [4] Zhao, P., He, B., Zhang, B., *et al.* (2022) Porosity of Gas Shale: Is the NMR-Based Measurement Reliable? *Petroleum Science*, **19**, 509-517.
- [5] 胡浩然, 周元明. 浅谈鄂西地区早寒武世和早志留世沉积环境对页岩气储层发育的控制作用[J]. 水电与新能源, 2014, 123(9): 68-78.
- [6] 王庆之, 杨飞, 喻永生. 川东南-湘鄂西地区构造演化与页岩气保存关系分析[J]. 长江大学学报(自然科学版)理工, 2012, 9(4): 44-46.
- [7] 李伦炯, 杨飞, 孙传敏, 等. 渝东南-湘鄂西地区构造运动与下志留统页岩气勘探[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(10): 68-71.
- [8] 贾承造. 中国喜马拉雅构造运动的陆内变形特征与油气矿藏富集[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 96-103.
- [9] 徐政语, 李大成, 卢文忠, 等. 渝东南构造样式分析与成因解析[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(1): 15-22.
- [10] 龙鹏宇, 张金川, 姜文利, 等. 渝页 1 井储层孔隙发育特征及其影响因素分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(10): 3954-3962.