

陆相断陷盆地致密油藏特征与分类

周 琦

东北石油大学 秦皇岛校区,河北 秦皇岛 066004

摘 要: 陆相断陷盆地的致密油气成藏条件复杂,储层性质变化多,规模开发的难度很大。根据渤海湾盆地的地质、地球化学、实验分析及生产测试等资料,对比国内外拗陷盆地致密油气藏特点,综合分析断陷盆地致密油气的成藏条件和成藏特征。研究表明断陷盆地生烃洼陷中富有机质泥页岩厚度大,有机质丰度高,成熟度演化范围宽;泥页岩成分复杂或与不同岩性的致密储层频繁互层,形成了丰富的自生自储或近源聚集的致密油气资源。致密油气藏依据油藏储层岩性类型分为致密碎屑岩类油藏、致密碳酸盐岩类油藏、致密火山岩类油藏、泥页岩类油藏 4 类。致密碳酸盐岩类油藏成藏条件最好,最易于开发。断裂构造附近泥页岩层系的构造裂缝发育区域,也具有良好的成藏条件,是重要的勘探方向。

关键词: 致密油;成藏条件;储层;油藏类型;陆相断陷盆地

CHARACTERISTICS AND CLASSIFICATION OF TIGHT RESERVOIR IN CONTINENTAL FAULT BASINS

ZHOU Qi

Northeast Petroleum University, Qinhuangdao 066004, Hebei Province, China

Abstract: Due to the complex accumulation conditions and varied reservoir properties of tight oil and gas in continental fault basins, it is very difficult to carry out large-scale development. According to the geological, geochemical, experimental analysis and production test data of Bohai Bay Basin, the paper compares the characteristics of tight reservoir in depression basins at home and abroad, and comprehensively analyzes the accumulation conditions and features of tight oil and gas in fault basins. The results show that the organic-rich shale in the hydrocarbon generation sag of fault basins is characterized by large thickness, high abundance of organic matter, and wide maturity evolution range. The shale with complex compositions are interbedded with the tight reservoir of different lithology frequently to form rich self-generated and self-stored or proximate-accumulated tight oil-gas resources. The tight reservoir can be classified into four types, namely tight clastic rocks, carbonate rocks, volcanic rocks and shale in terms of lithology, among which the carbonate rock reservoir has the best accumulation conditions, thus much easier to exploit. The structural fracture developed areas in the shale formation near the faults also have good reservoir-forming conditions for exploration.

Key words: tight oil; accumulation condition; reservoir; reservoir type; continental fault basin

收稿日期:2018-01-26;修回日期:2018-07-18. 编辑:李兰英.

基金项目:国家自然科学基金“渤海湾盆地济阳拗陷古近系陆相富有机质页岩裂缝研究”项目(编号 41372139).

作者简介:周琦(1963—),男,硕士,教授,主要从事石油地质学和沉积学的教学和科研工作,通信地址 河北省秦皇岛市海港区河北大街西段 550 号, E-mail/qizh_dq@126.com

0 引言

中国非常规油气资源潜力巨大,特别是致密油(页岩油)几乎在所有的含油气盆地都有发现^[1-6],已经取得勘探开发的重要突破(图1)。广义的致密油概念包括页岩油和页岩夹层致密油^[7-10],强调烃源岩中的近源聚集,连续分布。优质烃源岩是致密油成藏的核心控制因素,区别于常规油藏中的致密储层。

鄂尔多斯盆地新安边致密油田的成功开发,对于我国拗陷盆地致密油勘探开发具有指导意义^[11]。经过几年的实验探索,准噶尔、四川、松辽、柴达木和三塘湖等盆地的致密油也实现了规模开发。但致密油藏的准确评价难度大,开采成本高,特别是对陆相断陷盆地致密油的地质特征认识不足,还需深入研究,为指导进一步的勘探与开发提供科学实用的理论依据。

1 断陷盆地致密油藏特征

陆相断陷盆地中的致密(页岩)油气藏与海相盆地及陆相拗陷盆地中进行对比存在很大的不同^[2,10](表

1)。中国东部断陷盆地古近系湖相泥页岩分布范围广、厚度大、有机质丰度高、埋藏较浅、普遍处于生油高峰阶段,根据中国第三轮全国油气资源评价结果,初步估算东部断陷盆地古近系页岩油可采资源量 $56.59 \times 10^8 \text{ t}$ ^[2]。

断陷盆地构造演化的过程复杂,构造条件不同,沉积体系组合不同。横向上沉积体系类型变化大,岩性相变快;纵向上形成多期沉积旋回,沉积厚度大,烃源岩生烃量大;油气成藏条件不同,油气藏类型多样,油气共存。可以从典型的陆相断陷盆地(图2)中致密油气的发现和分布来总结探讨致密油气藏的特征。

1.1 辽河拗陷

该拗陷是渤海湾盆地东北部的中生代断陷盆地,陆上面积 12400 km^2 ^[12]。辽河拗陷内有西部凹陷、东部凹陷和大民屯凹陷3个主要生油凹陷,古近系湖相泥页岩是主要的烃源岩,厚度在 $1000 \sim 3000 \text{ m}$ 之间。有机质类型 I 型和 II₁ 型为主,演化成熟度从低成熟到高成熟阶段都有,生烃相态以油为主。近年来在

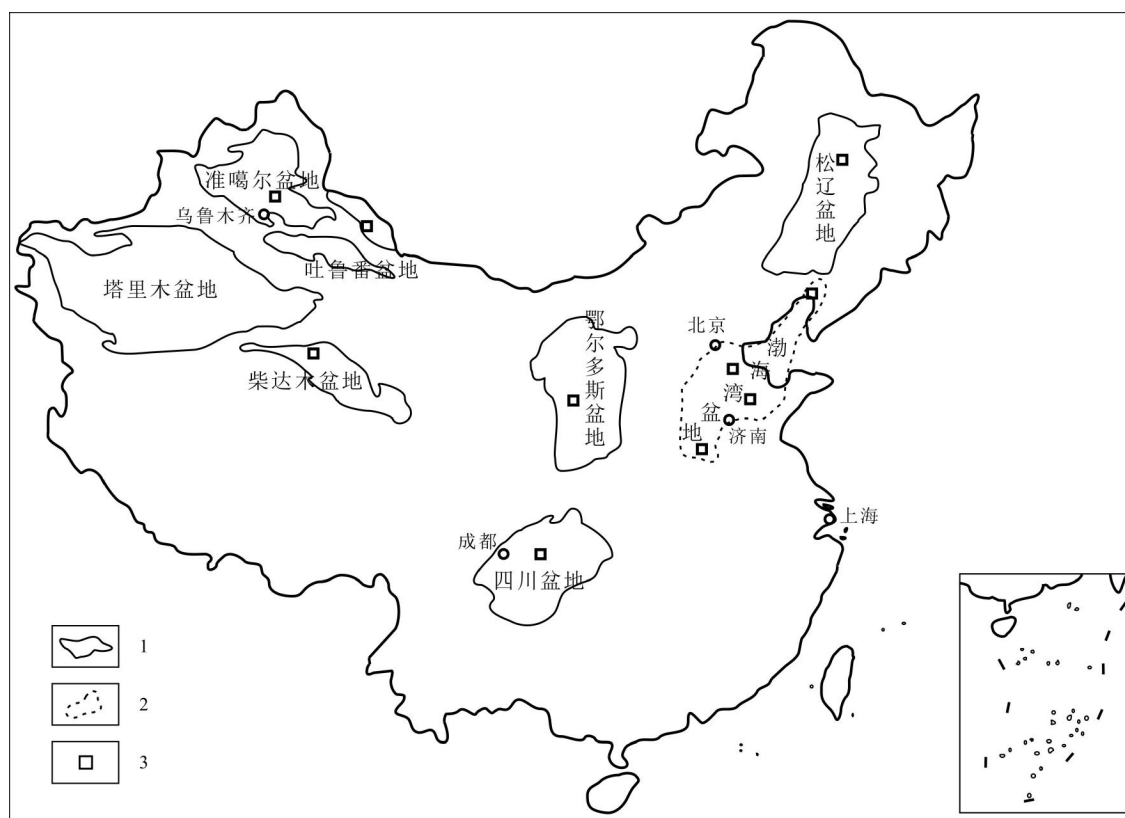


图1 中国主要含油气盆地及致密油的分布

Fig. 1 Distribution of significant petroleum basins with tight oil in China

1—拗陷盆地(depression basin); 2—断陷盆地(fault basin); 3—致密油发现地(tight oil site)

表 1 陆相断陷盆地致密油气藏地质特征

Table 1 Geological characteristics of tight reservoirs in continental fault basins

盆地	地层	时代	沉积相	埋深/m	烃源岩	储层岩性
威利斯顿盆地	巴肯组	石炭纪	海相	2000~3400	页岩	砂岩
马弗里克盆地	鹰滩组	白垩纪		1200~4500	页岩	灰岩
福特沃斯盆地	巴尼特组	石炭纪		1980~2600	页岩	页岩
鄂尔多斯盆地	延长组	三叠纪	拗陷湖泊相	1000~3000	页岩	砂岩、粉砂岩
松辽盆地	青山口组	白垩纪		500~2000	页岩	砂岩、粉砂岩
准噶尔盆地	芦草沟组	二叠纪		3000~4000	页岩	页岩、粉砂岩、碳酸盐岩
济阳拗陷	沙河街组	古近纪	断陷湖泊相	1500~5000	页岩、泥灰岩	砂岩、页岩、碳酸盐岩
辽河拗陷	沙河街组	古近纪		2500~4500	页岩、泥灰岩	页岩、砂岩、碳酸盐岩、火山岩、火山碎屑岩
泌阳凹陷	核三段	古近纪		1243~3085	页岩	页岩

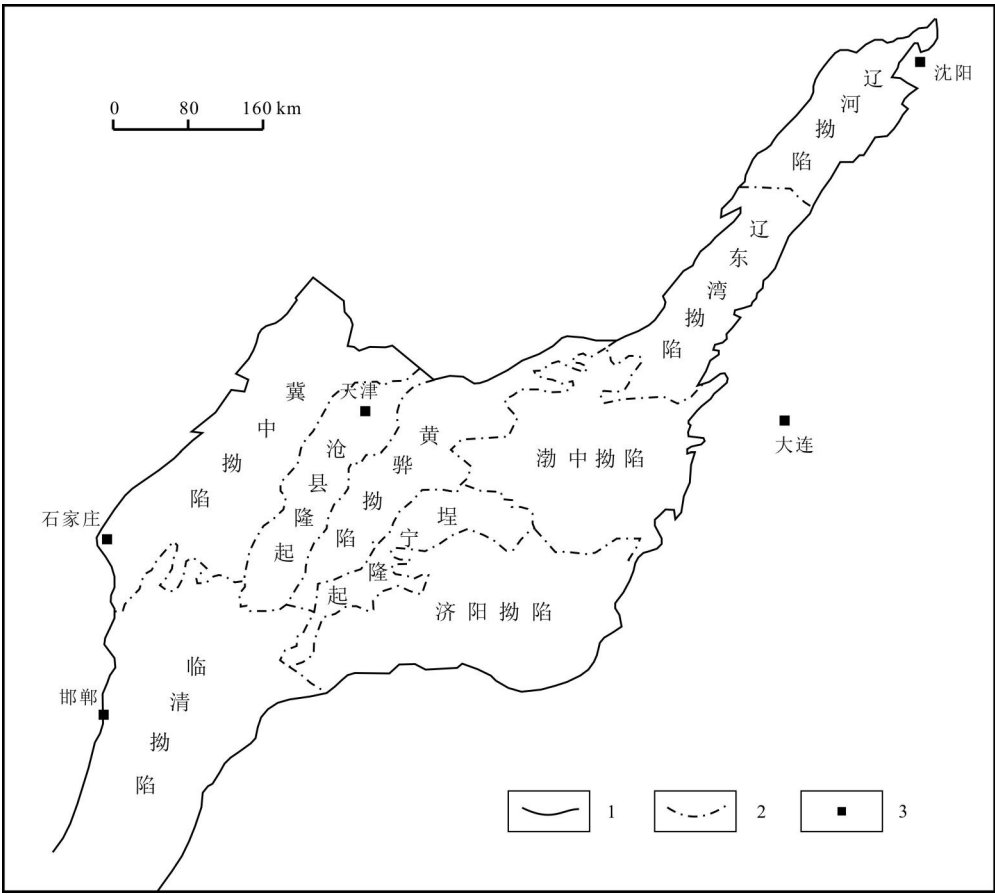


图 2 渤海湾盆地新生代拗陷分布图

Fig. 2 Distribution of Cenozoic depressions in Bohai Bay Basin

1—盆地界限(basin boundary); 2—拗陷界限(depression boundary); 3—城市(city)

烃源岩及特殊岩性夹层中的致密油气藏有很多新发现,储层岩性有砂岩、碳酸盐岩、火山角砾岩、玄武岩等,都获得了工业性油流,如雷家致密碳酸盐岩油藏、双台子构造带致密砂岩气藏、雷家沙四段致密火山角砾岩油藏、陈家洼陷裂缝型泥页岩油藏^[13]。致密油重

点勘探的雷家地区、大民屯凹陷和清水洼陷均有良好显示,获得工业油流,证明致密油气成藏条件好,资源潜力巨大。

辽河拗陷三大生油凹陷中西部凹陷和东部凹陷成熟度高,大民屯凹陷成熟度低。洼陷中心页岩烃源岩

生成成熟油,一部分原地聚集形成页岩油,一部分向相邻致密储层运移。混积岩烃源岩生成低熟稠油,有利形成自生自储的致密油藏和近源聚集的常规油藏。因此,从湖盆中心向湖盆边缘形成了页岩油气、致密油气、常规油气连续分布的油藏序列。

1.2 济阳拗陷

位于渤海湾盆地东南部,面积 25510 km²,有东营、惠民、沾化、车镇 4 个凹陷,是最早发现泥岩裂缝油气藏的盆地^[14]。古近系沙河街组泥页岩是主要烃源岩,累计厚度大于 1000 m。有机质类型主要为 I 型和 II₁ 型,演化成熟度较低。济阳拗陷古近系主力烃源岩的泥页岩中广泛见油气显示,其中 40 余口井段获工业油气流或低产油气流,各个凹陷和各个层系均有分布,以沾化凹陷、东营凹陷居多,产油为主,产气次之^[15-16]。

济阳拗陷内发现的致密油气藏有多种不同的类型。主要类型是裂缝泥页岩油藏,岩性主要为富有机质的灰质泥岩和泥质灰岩等混合沉积,是自生自储油气藏。主要分布于断层附近裂缝发育区,如罗家地区、沾化地区致密油藏,渤深 8 井页岩气藏。致密砂岩油藏岩性是深水浊积岩,如渤南洼陷沙四段致密砂砾岩油藏、渤南洼陷致密砂岩气藏。致密碳酸盐岩油藏岩性以白云岩为主。

2 断陷盆地致密油成藏特点

致密油气的生烃过程与常规油气没有区别,所以常规和非常规油气藏可以并存。我国含油气的断陷盆地主要为新生代盆地,有机质热演化成熟度范围很宽,从低熟到过熟的条件都有。致密油气可与常规油气、煤层气形成共生序列。一般当 R_o 在 0.7%~1.1% 时以页岩油为主,当 R_o 大于 1.1% 时以页岩气为主^[6]。在富有机质的泥页岩孔隙中油气是共存的,气油比是决定产出流体性质的重要因素。

由于断陷湖盆边缘断裂活动强度大,沉积补偿速度快,沉积分异作用弱,即使深水泥页岩的岩性也不纯,往往形成了各种混积岩。常见岩性有泥质白云岩、白云岩、泥质灰岩、灰岩、灰质泥岩、黏土岩和少量粉砂岩等细粒沉积岩。岩石类型和组成矿物成分的复杂性,决定了油气赋存储集空间的多样性。泥页岩中还经常发育砂岩、粉砂岩、碳酸盐岩、火山岩、煤层等夹层,这些不同岩性的夹层一般储集物性较好,是油气赋

存的主要空间,可采性也最好。

致密油气藏的成因和储层性质不同,成藏控制因素是不同的。控制成藏的地质条件主要包括两个方面:大规模分布的成熟度适中的富有机质泥页岩提供成藏的物质基础;储集性相对较好的夹层或裂缝发育的页岩层为有利的储集层。致密油气藏成藏属于“源控型”,最主要的控制因素是生烃量和排烃。断陷盆地巨大厚度的湖相泥页岩有机质类型好、丰度高、生烃量大。烃源岩与砂岩、碳酸盐岩等储集层呈夹层或互层状产出,有利于生烃和排烃作用,所以能够聚集和储集丰富的油气。当前致密油气的开采对象主要应该是储层中的游离态油气,既所谓的“甜点区”,可采性受原始孔渗性、人工压裂改造效果、原油密度等因素影响。致密储层如果次生孔隙较发育有利于成藏,碳酸盐岩夹层或成分混入可以形成溶蚀孔隙,也有利于构造裂缝和人工裂缝的形成,所以应该是最优先的勘探方向。断裂构造附近泥页岩层系的构造裂缝发育区域,也具有良好的成藏条件。

3 油藏储层类型

目前致密油藏类型大多依据储集孔隙空间划分^[17-18],也有贾承造等^[1]依据储层沉积成因划分 3 种类型。断陷盆地中页岩层系的孔隙空间受沉积作用、成岩作用、构造作用和成藏作用等多因素影响,变化较复杂,在不同的地质条件下孔隙类型产生重叠往往形成不同的复合类型^[19],实际使用不方便。通过大量的对比研究,根据储层岩性划分致密油藏类型简单合理,便于应用。致密油藏的开发方式也主要取决于储层岩性的特点。广义的致密油藏按照储层岩性划分为致密碎屑岩类油藏、致密碳酸盐岩类油藏、致密火山岩类油藏和泥页岩类油藏 4 大类。

1) 致密碎屑岩类油藏:根据岩性可进一步分出致密砾岩、致密砂岩和致密粉砂岩 3 类。陆相断陷盆地泥页岩层系中碎屑岩夹层主要为三角洲前缘的远端沉积和深水浊积岩,如济阳拗陷沙三段下亚段。如果储层物性好,可形成常规岩性油气藏。

2) 致密碳酸盐岩油藏:可进一步划分为致密灰岩和致密白云岩。辽河西部凹陷雷家地区发现典型的致密白云岩油藏。雷家地区紧邻陈家洼陷,沙四段沉积期沉积分异不明显,形成复杂的混合沉积类型^[14,20],包

括泥岩、砂岩、白云岩和方沸石岩及各种过渡混合岩类。泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩、白云质泥岩都具有生烃能力,页岩烃源岩有机碳含量 3%~8%,混积岩烃源岩有机碳含量 2%~6%,干酪根类型以 I 型和 II₁ 型为主。储层主要是泥质白云岩、白云质泥岩和粒屑云岩,形成致密碳酸盐岩油藏,其中粒屑云岩孔隙度、渗透率好,可以常规储层方式开采(雷 88 井)^[21]。也见致密火山碎屑岩油藏、裂缝泥页岩油藏(曙古 165 井、雷 77 井)^[14, 22]。

3)致密火山岩类油藏:可进一步划分为致密火山岩油藏和致密火山碎屑岩油藏。断陷盆地早期火山活动较强烈,如辽河东部凹陷沙河街组已发现很多火山岩和火山碎屑岩类油藏,大多数属于裂缝型的致密火山岩油藏,火山岩储层夹于巨厚的生油层之间。辽河西部凹陷雷家地区沙四段也发现致密火山角砾岩油藏(雷 77 井、雷 64 井)^[22]。

4)泥页岩类油藏:根据主要储集空间又分为裂缝型泥页岩油藏和孔隙型泥页岩油藏。裂缝型泥页岩油藏是发现最早也是数量最多的类型,如济阳拗陷泥页岩层系中的大多数油藏。南襄盆地泌阳凹陷核桃园组的裂缝型泥页岩油藏非常典型,BY-HF1 井和 BY-HF2 井两口页岩油水平井均获得高产工业油流,储层岩性主要为粉砂质页岩和灰质页岩,溶孔和裂缝均较发育^[23]。

4 结论

1)中国断陷盆地构造演化的时间长,形成多期沉积旋回;构造条件不同,沉积体系组合不同;横向上沉积体系类型变化大,岩性相变快;纵向上沉积厚度大,烃源岩生烃量大;油气成藏条件不同,油气藏类型多样,油气共存。致密油资源分布广泛,勘探潜力巨大。

2)致密油气藏的储层岩性不同,油气成藏过程和成藏要素不同,所以,油藏的特征和开发方式也有差别。根据储层的岩石类型,广义的致密油藏可以划分为致密碎屑岩类油藏、致密碳酸盐岩类油藏、致密火山岩类油藏和泥页岩类油藏 4 大类。

3)当前断陷盆地致密油的开采对象主要是储层中的游离态油气。碳酸盐岩夹层或混入碳酸盐矿物成分的混合沉积岩构成的致密储层,孔隙较发育有利于成藏,也有利于人工裂缝的形成,应该是最优先的勘探方向。断裂构造附近泥页岩层系的构造裂缝发育区域,具有良好的成藏条件,是重要的勘探方向。

参考文献:

- [1]贾承造,邹才能,李建忠,等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. 石油学报,2012,33(3):343-350.
- [2]赵立强,牟媚,罗志锋,等. 中国致密油储层改造理念及技术展望[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2016,38(6):91-98.
- [3]林森虎,邹才能,袁选俊,等. 美国致密油开发现状及启示[J]. 岩性油气藏,2011,23(4):25-30.
- [4]杨华,李士祥,刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报,2013,34(1):1-10.
- [5]闫伟鹏,杨涛,马洪,等. 中国陆相致密油成藏模式及地质特征[J]. 新疆石油地质,2014,35(2):131-136.
- [6]巨世昌,刘博峰,李闻东,等. 致密砂岩储集层物性下限确定方法浅析[J]. 天然气与石油,2017,35(3):62-67.
- [7]周庆凡,杨国丰. 致密油与页岩油的概念与应用[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.
- [8]邹才能,杨智,崔景伟,等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J]. 石油勘探与开发,2013,40(1):14-26.
- [9]边瑞康,武晓玲,包书景,等. 美国页岩油分布规律及成藏特点[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2014,29(1):1-9,14.
- [10]刘文卿,汤达祯,潘伟义,等. 北美典型页岩油地质特征对比及分类[J]. 科技通报,2016,32(11):13-18.
- [11]杨智,付金华,郭秋麟,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组陆相致密油发现、特征及潜力[J]. 中国石油勘探,2017,22(6):9-16.
- [12]王学良. 辽河断陷盆地深层石油地质特征[J]. 特种油气藏,2004,11(3):34-37.
- [13]单俊峰,陈振岩,回雪峰. 辽河拗陷西部凹陷坡洼过渡带岩性油气藏形成条件[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):42-45.
- [14]赵会民. 辽河西部凹陷雷家地区古近系沙四段混合沉积特征研究[J]. 沉积学报,2012,30(2):283-289.
- [15]王勇,宋国奇,刘惠民,等. 济阳拗陷页岩油富集主控因素[J]. 油气地质与采收率,2015,22(4):20-25.
- [16]张顺,刘惠民,宋国奇,等. 东营凹陷页岩油储集空间成因及控制因素[J]. 石油学报,2016,37(12):1495-1507.
- [17]李勇,钟建华,温志峰,等. 济阳拗陷泥质岩油气藏类型及分布特征[J]. 地质科学,2006,41(4):586-600.
- [18]宁方兴. 济阳拗陷页岩油富集主控因素[J]. 石油学报,2015,36(8):905-914.
- [19]宋国奇,徐兴友,李政,等. 济阳拗陷古近系陆相页岩油产量的影响因素[J]. 石油与天然气地质,2015,36(3):463-471.
- [20]李晓光,金科,周艳. 雷家地区沙四段湖相碳酸盐岩油气藏特征分析[J]. 特种油气藏,2016,23(4):25-28.
- [21]汪少勇,李建忠,王社教,等. 辽河西部凹陷雷家地区沙四段油气资源结构特征[J]. 天然气地球科学,2016,27(9):1728-1741.
- [22]单俊峰,刘兴周,周阿琴. 西部凹陷东部陡坡带角砾岩体储层特征研究——以雷 77 区块为例[J]. 特种油气藏,2008,15(3):37-40.
- [23]王敏,陈祥,严永新,等. 南襄盆地泌阳凹陷陆相页岩油地质特征与评价[J]. 古地理学报,2013,15(5):663-671.