

文章编号: 0253-9985(2004)03-0253-05

东营凹陷梁家楼油田成藏模式再研究

张林晔¹, 刘庆^{1,2}, 张春荣¹, 孔祥星¹, 朱日房¹

(1. 中国石化胜利油田地质科学研究院, 山东东营 257015; 2. 成都理工大学能源学院, 四川成都 610059)

摘要: 前人研究认为, 渤海湾盆地东营凹陷梁家楼油田是沙河街组三段中亚段泥岩生成的烃类直接排入其上紧邻的浊积砂砾岩形成的自生自储型油藏, 然而东营凹陷烃源岩研究的最新成果并不支持上述结论。油源对比、油藏水化学特征、油藏压力等资料均表明, 梁家楼油田南部区块油藏的油气主要源自沙河街组四段上亚段, 多属超压油藏, 油藏水以氯化钙型为主, 为烃类首先沿沙河街组四段岩性疏导体系侧向运移再经断层垂向运移形成的下生上储型或自生自储型油藏; 而中、北部区块源自沙河街组三段下亚段, 属常压油藏, 油藏水以碳酸氢钠型为主, 为烃类沿油源断层直接垂向运移形成的下生上储型油藏。上述认识启示勘探人员对东营凹陷的沙河街组三段中亚段烃源岩进行重新评价, 并重新认识近洼陷中心其他类似油藏的成藏模式和成藏过程。

关键词: 东营凹陷; 梁家楼油田; 氯化钙型水; 4-甲基甾烷

中图分类号: TE112.111

文献标识码: A

Restudy of pool-forming pattern of Liangjialou oilfield in Dongying sag

Zhang Linye¹ Liu Qing^{1,2} Zhang Chunrong¹ Kong Xiangxing¹ Zhu Rifang¹

(1. Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield Co., SINOPEC, Dongying, Shandong;

2. Energy College, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan)

Abstract: Liangjialou oilfield in Dongying sag, Bohai Bay basin, was previously thought to be an “indigenously generating and accumulating” oil reservoir, i. e. hydrocarbons generated in the mudstones in the middle 3rd member of Shahejie Formation have migrated upward into the adjacent turbidite glutinite. This view, however, is not supported by the latest achievements in hydrocarbon source rock studies in Dongying sag. Oil-source correlation, hydrochemical characteristics of oil reservoir and reservoir pressure show that oil reservoirs in southern Liangjialou oilfield, mostly characterized by superpressure and chloride-calcium type water, have been sourced by the upper 4th member of Shahejie Formation, i. e. hydrocarbons have firstly migrated laterally along the pathways in the rocks, and then migrated vertically upward through faults and become oil reservoirs either of “both generated and accumulated indigenously” or “generated below and accumulated above”; while those in middle and northern Liangjialou oilfield, characterized by normal pressure and sodium bicarbonate water, hydrocarbons have been generated in the lower 3rd member of Shahejie Formation, and then directly migrated vertically through faults in the source rock, so the oil reservoirs are of the type of “generated below and accumulated above”. The knowledge enlightened us to reevaluate the source rocks in the middle 3rd member of Shahejie Formation and restudy the pool-forming patterns in the similar pools around the center of the sag.

Key words: Dongying sag; Liangjialou oilfield; chloride-calcium type water; 4-methyl sterane

梁家楼油田是东营凹陷典型的浊积砂砾岩油藏, 邻近利津生油洼陷。多年来, 对该油田的勘探开发一直沿用早期的成藏模式: 即沙河街组三段中亚段(以下简称沙三中亚段)的浊积砂砾岩与沙

三中亚段的湖相泥岩直接接触, 泥岩中生成的烃类排入砂砾岩体, 形成的自生自储型油气藏^[1,2]。

然而, 最近的研究表明, 东营凹陷沙三中亚段的有机质丰度和生烃潜力与沙河街组三段下亚段

基金项目: 中国石化集团公司科技攻关项目“济阳坳陷隐蔽油气藏成藏动力研究及预测”(P03038)

第一作者简介: 张林晔, 女, 49岁, 教授级高级工程师(博士), 油气地球化学

收稿日期: 2004-04-13

和沙河街组四段上亚段(以下分别简称沙三下亚段和沙四上亚段)有较大的差距,而区内的大型油田多与沙三下亚段或沙四上亚段烃源岩有关^[3]。该结论的提出使人对沙三中亚段烃源岩能否提供充足的油源产生怀疑。另外,沙三中亚段油藏的整体充满程度低,含油带只是集中于紧邻断层的高部位等现象也会使人对原有的成藏模式产生疑问。

考虑到原有成藏模式建立时地化分析手段较为有限,缺乏可靠的油源对比依据,因此有必要开展新的研究工作。在这种情况下,本文以油源对比为主要手段,并结合原油物性、油藏水化学特征、油藏压力系统和油藏剖面分析,对梁家楼油田的油气来源和成藏模式进行了重新研究。

1 概况

梁家楼油田位于东营凹陷南部,利津洼陷向南抬升部位,南与纯化古隆起相邻,其西北部与利津洼陷直接邻接。东南部为牛庄-六户洼陷(图 1)。古近系沙河街组的沙三中亚段和沙四段是梁家楼油田的两套主要储集层系。其中沙三中亚段储层为一大型浊积砂砾岩体,在各个区块均有分布^[1];沙四段储集层主要分布在梁家楼油田南部,以滨浅湖相席状砂为主。平面上油田被多条近东

西向的弧形盆倾正断层分割成条带状,含油带也顺断层走向呈东西向分布。

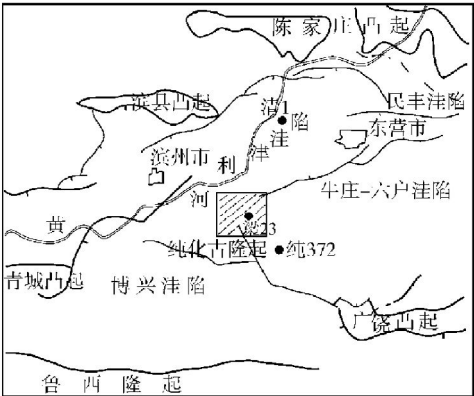


图 1 梁家楼油田地质概况
Fig. 1 Geologic sketch map of Liangjialou oilfield

从物性特征来看,区内的原油分布存在一定的规律性。从北向南,随埋藏深度的降低,原油的密度和粘度有逐渐增加的趋势,大致可以分为两种类型(表 1):第一类原油密度和粘度均相对较小,其中密度一般小于 0.89 g/cm³,粘度小于 50 mPa·s,主要分布在梁家楼油田北部(包括乔庄油田)、中部;第二类原油密度、粘度明显高于第一类,其密度一般大于 0.90 g/cm³,粘度一般大于 100.0 mPa·s,主要分布在梁家楼油田南部。

表 1 梁家楼油田原油物性特征
Table 1 Physical properties of crude oil in Liangjialou oilfield

地 区	层 位	井段/m	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(mPa·s)	样品数/个
北部区块	沙三中亚段	3 122.4~3 309.0	0.860 3~0.864 8	10.7~14.3	5
中部区块	沙三中亚段	2 780.3~2 836.0	0.877 5~0.882 3	24.1~45.2	5
南部区块	沙三中亚段	2 557.4~2 594.2	0.901 3~0.924 6	103.0~769.0	4

2 油源对比

从原油生物标志化合物来看,梁家楼油田的原油可分为两种类型。

第一类原油具有相对较高的伽马蜡烷含量和较低姥/植比等特点,其中伽马蜡烷指数大多数高于 0.2,而姥/植比一般小于 0.5(图 2)。另外,该类原油还具有相对较低含量的重排甾烷和 4-甲基甾烷(图 2,图 3)。原油的上述特征反映了其烃源岩形成于较高盐度和强还原的沉积环境^[4],与区内的沙四上亚段烃源岩是一致的^[5~7]。从该类原油的平面展布来看,该类原油主要分布在梁家楼油田南部地区,仅有 1 块样品来自梁中地区。第二类原油具有相对较低的伽马蜡烷和较高的姥/植

比,其中伽马蜡烷指数低于 0.2,而姥/植比均大于 0.5,一般在 1.0 左右(图 2)。该类原油还具有高重排甾烷、高 4-甲基甾烷等特点。上述生物标志化合物特征表明其源自淡水,富粘土的烃源岩^[8,9],与区内沙三下亚段烃源岩是一致的^[5]。平面上,该类原油主要分布在梁家楼油田中、北部。从平面展布来看,油源与物性特征存在明显的相关性。

油源分析表明,所有原油均非源自沙三中亚段本身,而是来自下伏地层,储层与烃源岩之间相隔沙三中亚段泥岩,因此不支持自生自储型成藏模式。另外,两种类型原油的存在,预示着不同区块的成藏模式可能并不一致。

从甾烷异构化参数来看,源自沙四上亚段的

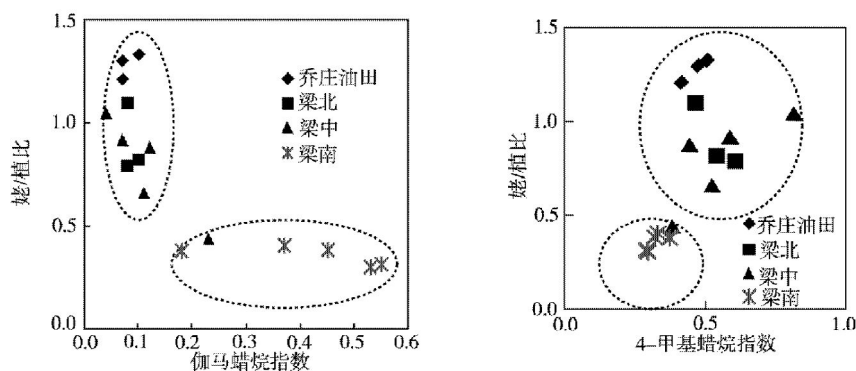


图2 梁家楼油田原油的部分生物标志化合物特征

Fig. 2 Some biomarkers' characteristics of crude oil in Liangjialou oilfield

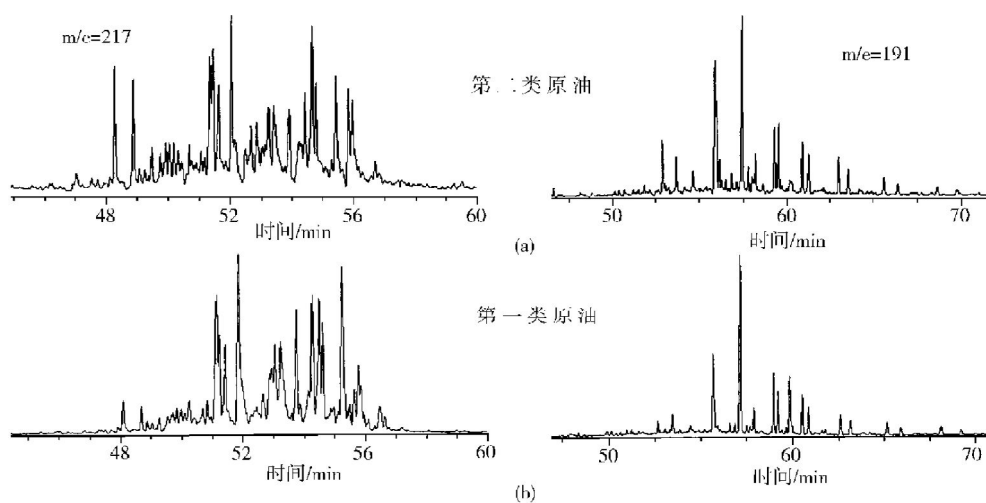


图3 梁家楼油田两种不同来源原油的甾、萜烷特征

Fig. 3 Characteristics of steranes and terpanes of oils from two different sources in Liangjialou oilfield

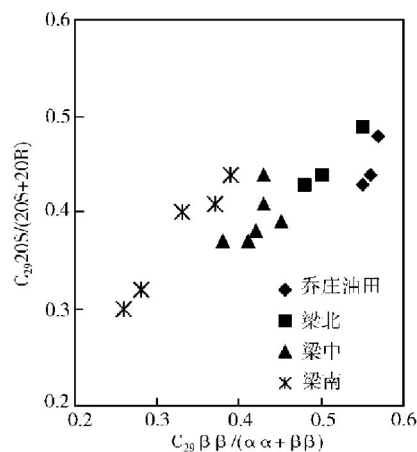
a—C41—3井, 2 829. 0~ 2 834. 2 m, E_{s4}; b—L20井, 2 836. 6~ 2 859. 6 m, E_{s3} 中

原油成熟度略低于源自沙三下亚段的原油成熟度, 其中前者中有两块样品规则甾烷 $C_{29}20S/(20S + 20R)$ 小于 0.35, 具有低熟油的特征, 其他样品均为成熟油, 而后者全部为成熟油(图4)。

3 油藏水化学和地层压力

油藏水化学研究, 对于油气运移聚集过程分析具有重要意义。根据油藏水化学分类方法^[10], 区内碳酸氢钠型水分布最广, 在油田北部、中部均占有绝对优势(图5)。该类型水的总矿化度和氯离子含量一般相对较低, 前者多为10~20 mg/g, 后者为10 mg/g左右。占第二位的水型为氯化钙型, 主要分布在南部地区, 总矿化度和氯离子含量总体上高于碳酸氢钠型水, 其中总矿化度一般大于20~30 mg/g, 部分可达60 mg/g以上, 而氯离子含量一般高于15 mg/g, 部分高达30 mg以上。此外, 区内还存在少量氯化钙型水, 主要分布在梁家楼油

田中部和南部氯化钙型水和碳酸氢钠型水分布区之间的过渡带上。

图4 梁家楼油田原油的 C_{29} 规则甾烷异构化参数特征Fig. 4 Characteristics of C_{29} sterane isomerization parameters of crude oils in Liangjialou oilfield

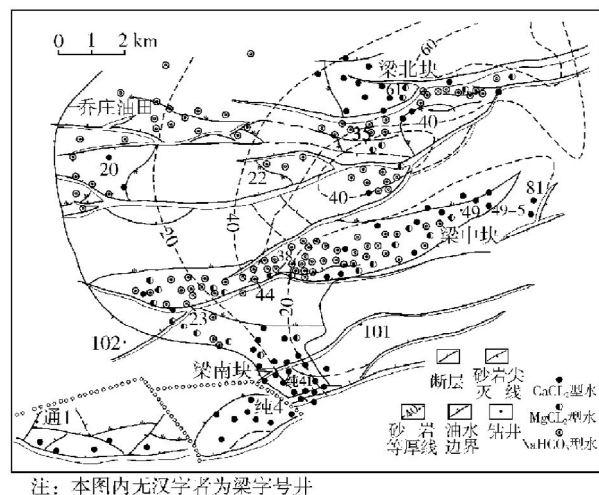


图5 梁家楼油田油藏水型平面分布图

Fig. 5 Distribution of reservoir water types in Liangjialou oilfield

由以上分析可以看出,区内油藏水化学特征与油源存在密切的相关性,以沙四上亚段为油源的油藏以 CaCl_2 型水为主,而以沙三下亚段为油源的油藏多为碳酸氢钠型水。这种相关性用烃源岩沉积环境的差异可以较好的解释。根据前人研究,东营凹陷沙四上亚段为半咸水至咸水环境,而沙三下亚段为淡水-微咸水环境^[11,12]。不同盐度的地层水与石油烃类同时从烃源岩中排出并最终进入储层可能是产生这种差异的主要原因。

从梁南区油藏水的平面展布还可以看出,沙四上亚段及其深部油藏水矿化度最高,而沙三中亚段油藏水矿化度较低,并且呈现出距纯北断层越远,矿化度越低的趋势。这种分布特征从一定程度上指示着纯北断层是深部高矿化度流体发生垂向运移的重要通道。

油藏地层压力是影响成藏过程的重要因素,对于油气运移聚集规律研究也具有重要意义。从压力资料分析,梁家楼油田既存在常压油气藏,也存在超压油气藏(图6)。常压油藏的压力系数一般小于1.05,主要分布在梁家楼油田中部、北部(沙三中亚段储集层),与以沙三下亚段为油源的油藏分布基本一致。而超压油藏的压力系数一般高于1.20,最高可达1.49,分布在梁家楼油田南部地区,对应着以沙四上亚段为油源的油藏。两种压力系统的存在进一步表明区内并非单一的成藏模式。

在梁南地区,从纵向上看,不同层位的油藏压力表现出一定的差异性。沙三下亚段和沙四上亚段储层一般具有较强的超压,而向上进入沙三中

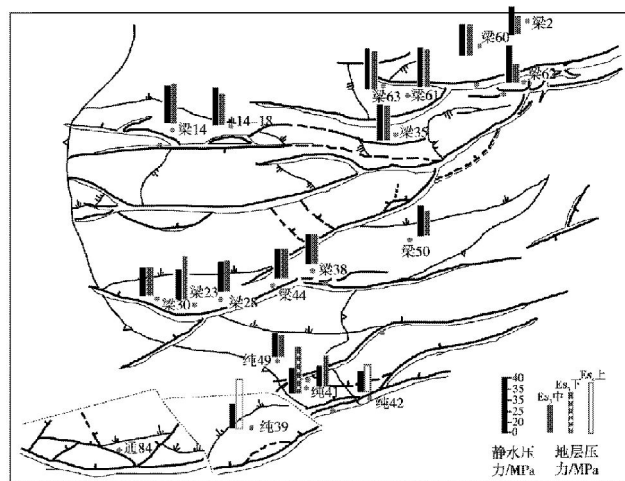


图6 梁家楼油田油藏地层压力平面分布

Fig. 6 Distribution of reservoir pressures in Liangjialou oilfield

亚段以后,超压有减弱趋势,到纯49井,已接近常压。超压的纵向演变,从一定意义上指示着油气由深部向浅部运移聚集的趋势。梁南地区油田开发过程的事实也证实了这一点。根据区内纯47块沙三中亚段油藏的开发史统计,其储量与采出量极不匹配,采收率已接近100%。由于对该套储集层的油藏描述已经非常精细,储量计算的微小误差显然不能给出合理的解释,而只能解释为深部存在其他与其连通的油藏,在油田开发过程中,伴随压力的降低下部油藏对上部油藏持续供油产生的结果,而其中纯北大断层则充当了沟通浅部与深部油藏的重要通道。无独有偶,类似的实例也曾出现在墨西哥湾地区^[13]。

4 油气成藏模式分析

在前文油源对比、油藏水化学分析和油藏压力分析的基础上,结合南北向油藏剖面,可以看出,梁家楼油田存在两种不同的成藏模式(图7)。

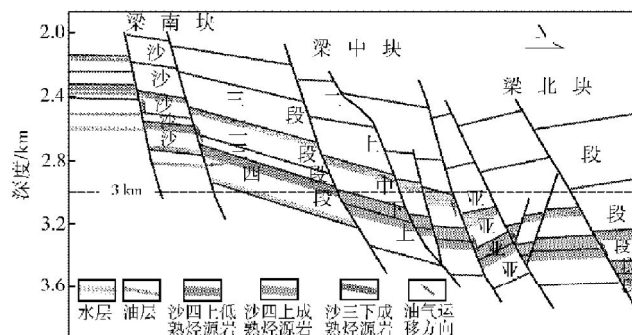


图7 梁家楼油田南北向油藏剖面

Fig. 7 S-N reservoir profile in Liangjialou oilfield

中部和北部区块, 主要油源岩为沙三下亚段, 油藏为下生上储型。烃源岩生成的油气沿断层发生垂向运移并突破沙三中亚段泥岩进入浊积砂砾岩体成藏。油气沿东西向条带状展布的格局主要与油气进入储层后的重新分配有关。

南部区块以沙四上亚段为主要油源岩, 油藏类型包括自生自储型(沙四段储层)和下生上储型(沙三中亚段储层)。油气生成以后首先从源岩排出并进入紧邻的沙河街组四段岩性疏导体系, 然后经侧向运移进入沙四上亚段储集层聚集成藏。由于压力梯度的存在, 部分油气继续沿梁南断层上升发生垂向和侧向运移, 分别进入沙三中亚段或高部位沙四上亚段储集层聚集成藏。梁南地区低熟和成熟原油并存的事实表明, 沙四上亚段低熟和成熟烃源岩生成的油气均参与了最终的成藏过程。

在梁家楼油田北部、中部, 断层虽切穿了沙四上亚段和沙三下亚段烃源岩, 但仅有后者生成的油气能通过断层到达上部储集层, 表明断层仅具有一定的通透能力。而在梁家楼油田南部地区, 断层则充当了沙四上亚段生成的油气垂向运移的通道。断层输导油气能力的差异与断层规模、切穿地层的砂泥比、断层活动期次等许多因素有关, 在此不作详细讨论。但是可以肯定的是, 区内北带断层疏导油气的能力较低。该认识也较好地解释了油藏充满程度较低的原因。

5 意义

深入分析梁家楼油田不同区块的成藏模式可以发现, 其北部和中部沙四上亚段生成的油气未能突破其上盖层直接进行垂向运移, 而是首先通过沙四段岩性疏导体系发生了侧向运移, 因而其沙四段储层具备与梁南地区类似的成藏条件, 是下一步勘探的有利方向。

从油源对比的结果来看, 沙三中亚段烃源岩缺少对梁家楼油田的实质性贡献。而从烃源岩成熟度分析, 整个油田的中北部沙三中亚段埋深已经大于 3 000 m, 达到成熟阶段。考虑到如果沙三中亚段烃源岩生烃量较大, 则与其直接接触的浊积砂体是最容易成藏的部位, 但未发现沙三中亚段油气贡献的事实, 启示勘探人员对东营凹陷沙

三中亚段的生油能力进行重新评价。

近年来, 东营凹陷隐蔽油气藏勘探逐年增加, 逐步成为探明储量的主体^[14, 15]。在东营凹陷各洼陷中心部位特别是沙三中亚段, 均存在一定量的砂砾岩油藏, 如牛庄油田、东辛油田的营 11 块等。从油源、储层和盖层等成藏要素来看, 这些地区具备与梁家楼油田近似的成藏条件, 而且以往开展的油气勘探, 也是依据自生自储的成藏模式进行的, 因此有必要重新开展成藏规律研究。

参 考 文 献

- 1 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 284~ 285
- 2 荣启宏. 东营凹陷西南部油气勘探与开发[A]. 见: 荣启宏, 蒋有录, 宋建勇, 等. 东营凹陷西南部地区油气藏形成与分布规律[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 3~ 17
- 3 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35~ 42
- 4 Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relations between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. AAPG Bull, 1985, 69: 1 255~ 1 268
- 5 张林晔, 张春荣. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳凹陷牛庄洼陷南部斜坡为例[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 15~ 22
- 6 朱光有, 金强, 周建林, 等. 济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 9~ 14
- 7 刘华, 蒋有录, 杨万芹, 等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 39~ 43
- 8 Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, et al. Application of biological markers in the assessment of paleoenvironments of Chinese nonmarine sediments[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16: 769~ 779
- 9 Peters K E, Michael M J. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995. 126~ 146
- 10 柯林斯. 油田水地球化学[M]. 林王庄, 王秉忱译. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 11 姚益民, 梁鸿德, 蔡治国, 等. 中国油气第三系(IV)——渤海湾盆地油气分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 123
- 12 蔡进功, 姜秀芳. 东营盆地始新统沉积体系及盆地演化[J]. 沉积学报, 1995, 13(1): 27~ 37
- 13 Whelan J K, Kennicutt M C, Brooks J M, et al. Organic geochemical indicators of dynamic fluid flow processes in petroleum basins[J]. Org Geochem, 1994, 22(3~ 5): 587~ 615
- 14 袁选俊, 谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 130~ 134
- 15 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等. 东营凹陷岩性圈闭油气充满度及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 219~ 222