

开鲁盆地陆东凹陷油气成藏条件与富集规律

刘 斌

(全国矿产资源委员会办公室, 北京 100812)

关晓东

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

雷安贵 张 辉

(辽河石油勘探局勘探开发研究院, 辽宁盘锦 124010)

陆东凹陷具有良好源岩层, 储层以次生溶孔为主, 具中低孔、细喉、低渗的特征, 盖层条件良好, 圈闭多与断层有关, 均定型于青山口组沉积前的燕山早幕运动, 油气纵向运移是浅部阜新组成藏的关键, 侧向运移成藏是九佛堂组油气富集的显著特点。断层对区内油气成藏有关键性作用, 生烃中心周边大型沉积体系前缘地带的圈闭发育区和中央断裂构造带是油气的主要富集区。

关键词 成藏条件 富集规律 有利地区 陆东凹陷

第一作者简介 刘斌 男 35 岁 高级工程师 石油与天然气地质

1 概述

陆东凹陷为开鲁盆地陆家堡凹陷的一部分。该凹陷为 SE 断 NW 超的断陷, 断陷轴向 NE。断陷内断层发育, 主要发育在晚侏罗世义县-阜新组沉积时期。根据凹陷的断层及地层发育特征, 将其划分为交南断阶带、中央断裂构造带、东部断阶带、清河鼻状构造带及交力格洼陷、库伦塔拉-三十方地洼陷(图 1)。

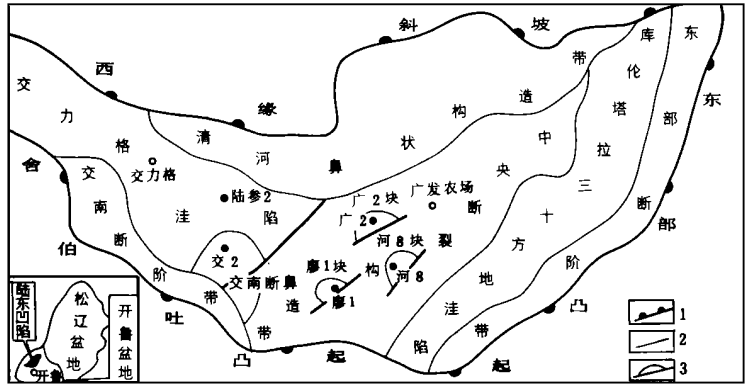


图 1 开鲁盆地陆东凹陷构造区划图

1—凹陷边界线; 2—构造分区线; 3—局部构造

陆东凹陷的基底为古生界变质岩系, 其盖层中-新生界自下而上发育有上侏罗统、白垩系和第三、第四系, 上侏罗统自下而上又可划分为九佛堂组、沙海组和阜新组。上侏罗统、白垩系和第三系之间均为不整合接触。

陆东凹陷是一断—拗型凹陷, 晚侏罗世为断陷期, 白垩

纪—第四纪为拗陷期。主要勘探目的层上侏罗统是断陷期沉积的产物。断陷期的沉积又经历了初期强烈沉降—中期稳定下沉—晚期回返萎缩阶段。上述演化直接控制着该湖盆的沉积作用,使湖盆产生浅湖—深湖—滨浅湖沉积旋回。

该凹陷水下扇、扇三角洲和浊积体发育,其中水下扇多发育在断陷 SE 侧的陡岸带,扇三角洲则多发育在断陷 NW 侧的缓坡带,而浊积体多发育在深水区和盆内大断层下降盘附近。

陆东凹陷原油密度、粘度变化较大, 20℃时密度变化在 0.841 6~1.004 g/cm³ 之间, 50℃时的粘度变化范围为 5.62~589.06 mPa·s。含蜡量中等, 胶质和沥青含量较高。油密度和粘度总体上随埋深的增加而变小,但在某些层位亦出现稠稀相间的现象。该凹陷的地层水矿化度在 2 000~10 000 mg/l 之间,为 NaHCO₃ 型,化学离子分异组合为 HCO₃⁻ > SO₄²⁻,阳离子中 K⁺, Na⁺ 占绝对优势,贫 Ca²⁺ 和 Mg²⁺。

2 油气藏形成条件

2.1 源岩特征

陆东凹陷成熟的源岩主要为沙海组和九佛堂组。具有厚度大、分布广,有机质丰度高,干酪根类型好(Ⅱ型)和成熟度适中(低—成熟)的特点。

沙海组暗色泥岩,几乎在整个陆东凹陷均有分布,最大厚度达 900 m,平均厚度 280 m;九佛堂组源岩最厚达 1 200 m,平均厚度约 500 m。这两套源岩的有机碳含量平均达 3.00% 左右,其它指标也显示其为优质源岩(表 1)。从干酪根分析结果(表 2)可以看出沙海组源岩干酪根以Ⅱ_B 型为主,九佛堂组以Ⅱ_A 型为主,均处于低—成熟阶段。

表 1 陆东凹陷有机质丰度统计表

层 位	有机碳 (%)	沥青“A” 10 ⁻⁶	总烃/10 ⁻⁶	沥青“A” 有机碳 (%)	总烃 有机碳 (%)	产烃潜量 S ₁ + S ₂ / kg t ⁻¹	评价
沙 海 组	$\frac{1.31\sim4.65}{3.00}$	$\frac{190\sim3\,009}{916}$	$\frac{55\sim2\,990}{537}$	$\frac{0.84\sim6.18}{3.03}$	$\frac{0.27\sim7.11}{2.23}$	$\frac{1.25\sim44.26}{11.22}$	好
九佛堂组	$\frac{0.75\sim8.57}{2.99}$	$\frac{508\sim9\,200}{4\,318}$	$\frac{328\sim6\,385}{2\,658.7}$	$\frac{4.33\sim21.27}{14.58}$	$\frac{2.33\sim27.96}{9.96}$	$\frac{1.11\sim39.99}{13.76}$	好

注: $\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值}}$

表 2 陆东凹陷干酪根分析数据

层 位	类型	腐泥组 (%)	壳质组 (%)	镜质组 (%)	惰质组 (%)	碳同位素 (‰)	R _o (%)
沙 海 组	Ⅱ _B	$\frac{46\sim84^*}{66}$	$\frac{1\sim3}{2}$	$\frac{11\sim46}{26}$	$\frac{3\sim11}{6}$	$\frac{-31.15\sim-23.38}{-25.67}$	$\frac{0.50\sim0.68}{0.56}$
九佛堂组	Ⅱ _A	$\frac{36\sim97}{81}$	$\frac{1\sim4}{2}$	$\frac{5\sim61}{15}$	$\frac{2\sim5}{3}$	$\frac{-29.11\sim-19.60}{-27.15}$	$\frac{0.50\sim0.90}{0.61}$

* 同表 1

2.2 储、盖层条件

陆东凹陷油层主要分布在上侏罗统九佛堂组,其次是阜新组,白垩系未发现油层。

2.2.1 储层多、薄、连通性差

凹陷内阜新组和沙海组储层均不发育,砂岩比例均小于 20%,砂层总厚度都小于 200 m,相对而言,九佛堂组砂层较发育,所占比例大于 52%,砂层厚度 40~400 m。由于相变快,整个

上侏罗统储层多且薄, 连通性差。尽管近岸处发育有粒级较粗的砂砾岩、粗砂岩和中砂岩, 但目前发现的油层均分布在中、细砂岩中, 且主要分布在细砂岩中, 这是由于物源附近的砂岩储集条件差, 且保存条件不好所致。

2.2.2 储层岩石成熟度低

稳定组分石英的含量一般小于 5%, 不稳定组分岩屑含量高, 一般大于 60%, 多属于长石岩屑砂岩和岩屑砂岩。岩石分选、磨圆差, 以次棱角状为主, 分选系数在 1~5 之间。火山物质非常发育, 碎屑颗粒以火山岩屑为主, 胶结物亦多为火山灰等水解演变而来的产物。

2.2.3 储层以次生溶孔为主

由于本区储层含不稳定易溶组分多, 故溶蚀次生孔隙发育, 是本区储层的主要孔隙类型。相反原生孔隙不发育, 且多为经压实和新生矿物充填后剩余的残余原生粒间孔。次生孔隙发育带的主要控制因素是有机质热演化产生的有机酸和 CO_2 , 使岩石颗粒溶蚀形成次生孔隙带。

2.2.4 中低孔、细喉、低渗

九佛堂组储层孔隙度主要分布在 8%~24% 范围内, 平均 17%, 渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 多数样品排驱压力大于 4 MPa, 孔喉半径小于 1 μm , 最小非饱和孔隙体积大于 20%。

2.2.5 盖层

陆东凹陷的盖层主要是泥岩, 其次是油页岩。区内的沙海组和阜新组泥多砂少, 泥岩厚度大, 分布稳定, 尤其是沙海组泥岩在整个凹陷均有分布, 是本区良好的区域盖层。沙海组区域盖层的存在, 使该凹陷的油主要富集在其下的九佛堂组储层中。此外, 工区的局部盖层相当发育, 目前发现的九佛堂组内油藏顶部均发育有泥岩或油页岩盖层。这些直接盖层虽然分布范围和厚度不能与沙海组区域盖层相比拟, 但它对该区油藏的形成起重要作用。

2.3 圈闭

陆东凹陷圈闭类型多为构造型和岩性-构造型, 其次是岩性圈闭。构造型圈闭又以断鼻、断背斜圈闭为主。构造型的断鼻和断背斜圈闭主要分布在九佛堂组, 岩性-构造圈闭多分布在阜新组。以中央断裂构造带构造圈闭最发育, 目前发现有建华、建新、前河、广发等构造。交力格洼陷和库伦塔拉—三十方地洼陷周边亦是构造圈闭发育带。由于本区的浊积体发育, 因此在深凹区和断层下降盘均有岩性圈闭存在。

圈闭发育史研究表明, 本区构造圈闭和岩性-构造圈闭多数定型于青山口组沉积前的燕山早幕运动。由于圈闭定型早, 而源岩目前仍处于低熟阶段, 因此, 圈闭的形成期与烃类生成期匹配较好, 有利于捕集油气。

本区的圈闭多与断裂有关, 均未断开阜新组, 这对油气在上侏罗统富集成藏很有利。

2.4 运移特征

九佛堂组和浅部阜新组均有油层分布, 但阜新组源岩有机质目前尚未成熟, 油来自下部的九佛堂组, 纵向运移是浅部阜新组油气藏形成的关键。

陆东凹陷的油藏主要分布在交南断阶带和中央断裂构造带的九佛堂组, 油藏为自生自储式油藏, 主要是通过较短距离侧向运移富集而成。

3 油气富集规律

3.1 燕山运动是主要成藏期

计算表明, 陆东凹陷主力源岩层九佛堂组的主要生烃期在阜新组至燕山运动早幕期间。此

期间的生烃量占总生烃量的 45%, 至青山口组沉积初, 累积生烃量为 23.7×10^8 t, 占总生烃量的 57.7%(表 3)。且此时凹陷的生烃强度普遍大于 600×10^4 t/km², 生烃中心部位的交力格洼陷和三十方地洼陷及库伦塔拉洼陷的生烃强度一般大于 $1\,000 \times 10^4$ t/km²。就是说青山口组沉积前, 陆东凹陷已生成大量烃, 为该区油气藏的形成提供了物质保证。这里须要特别指出的是燕山运动期间虽然区域抬升, 断陷地温下降, 但由于燕山运动持续时间长(运动早幕持续时间为 28 Ma, 晚幕持续时间为 18 Ma, 而九佛堂组、沙海组和阜新组沉积持续时间分别为 6, 5 和 7 Ma), 补偿了地温下降的影响, 使源岩生烃量仍处于上升趋势。

表 3 九佛堂组各阶段生烃量统计表

	九佛堂期	沙海期	阜新期	燕山运动早幕	青山口期—明水期	燕山运动晚幕	第三—第四纪
生烃量/10 ⁴ t	3 122	46 215	101 123	86 835	43 154	79 324	52 131
占总量数(%)	0.8	11.2	24.6	21.1	10.5	19.4	12.6

研究表明, 本区非岩性圈闭多数具有继承性发育特点, 且均定型于青山口组沉积前的燕山运动早幕。继承性发育的圈闭和与主要生烃期同步形成的圈闭为烃的富集成藏创造了条件。一般认为, 油气运移的主要时期就是油气主要成藏期。依据上述观点, 本区的主要成藏期就是青山口组沉积前的燕山运动期。此期间的构造运动不仅使非岩性圈闭形成或定型, 而且使此期间及阜新组沉积期大量生成的烃发生大规模运移富集成藏, 就是说青山口组沉积前的燕山运动期是本区的主要成藏期。

3.2 断层对油气成藏起关键作用

断层对油气成藏起关键性作用主要表现在如下两方面: (1) 本区的圈闭多与断层形成的断层遮挡有关, 例如, 目前发现的交力格、前河、广发等油藏都是断块油藏。没有断层, 则本区的圈闭数量大为减少, 油气富集概率大大降低。(2) 本区断层起到沟通下部油气源, 为下部油气向上运移到浅部成藏提供通道作用。例如广 2 块阜新组中下部发育的稠油油藏就是下部九佛堂组生成的油通过断层运移到阜新组形成的, 该油藏东南侧发育有一条向下断开九佛堂组, 向上断至阜新组上部(但未断开阜新组)的大断层, 该断层对广 2 块阜新组油藏的形成起到了关键性的作用。

3.3 生烃中心周边是油气富集成藏有利区

勘探成果表明, 目前发现的油气藏均分布在生烃中心周边大型沉积体系前缘地带的圈闭发育区, 例如, 交力格油田和廖 1 块油藏就分别位于主要生烃洼陷交力格洼陷周边的交南水下扇和前河水下扇前缘砂岩发育地带, 广 2 块油藏亦是位于北部扇三角洲前缘砂层发育区。上述地区砂体和圈闭均较发育, 且位于生烃中心周边, 离烃源岩较近, 有利于油气富集成藏。

3.4 中央断裂构造带有利于油气富集

陆东凹陷的中央断裂构造带是该凹陷的“凹中隆”。该构造带在主生烃期以前一直处于较高的区域位置, 且其两侧的生烃洼陷交力格洼陷和三十方地-库伦塔拉洼陷所生成的油气均运移指向该构造带。此外该构造带圈闭发育, 北部清河扇三角洲沉积体系和南部前河水下扇沉积体系的前缘砂体均伸入该构造带。该构造带内浊积体发育, 这些浊积体伸入生油岩中很容易形成岩性圈闭油藏。简言之, 中央断裂构造带是陆东凹陷油气富集最有利区。

POOL-FORMING CONDITIONS AND ACCUMULATED LAW OF HYDROCARBON IN LUDONG DEPRESSION, KAILU BASIN

Liu Bin

(General Office of National Committee on Mineral Resource, Beijing)

Guan Xiaodong

(Institute of Petroleum Geology, M GMR, Beijing)

Lei Angui Zhang Hui

(Institute of Exploration and Development, Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin, Liaoning)

Abstract

Effective hydrocarbon source rocks developed in Ludong Depression. Reservoir rocks are predominated by secondary solved pores with low porosity, low permeability and fine throat diameters. Cap rocks are good. Traps are mainly related to faults. Nonlithologic traps of Upper Jurassic were formed in early Yenshan movement. Vertical migration of oil and gas is the key to shallow Fuxin Formation reservoirs while lateral migration is the outstanding characteristics of oil and gas accumulation in deep Jiufotang Formation. Faults play a key role in oil and gas accumulation in the area. Traps developed areas in large sedimentary system around hydrocarbon-generating centre and central fracture structure zone are the main places for hydrocarbon accumulation.