

辽东湾断陷油气成藏模式及主控因素

杨宝林^{1,2}, 叶加仁^{1,2}, 王子嵩³, 薛海琴⁴

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. 中国石油冀东油田公司, 河北唐山 063004

4. 中国地质大学江城学院, 湖北武汉 430200

摘要: 为深入研究辽东湾断陷油气成藏机理, 利用地震、钻井、地化、试油等资料, 在分析油气成藏条件与特征的基础上, 总结划分了辽东湾断陷的典型油气成藏模式, 并对比分析了不同成藏模式的主控因素。研究成果表明: 辽东湾断陷具有优越的油气成藏条件, 发育沙三段、沙一段和东三段3套烃源岩系和上、中、下3套储盖组合及多类型输导介质, 已发现的油气藏类型以构造型为主; 油气纵向上以东二段、潜山和沙一二段最为富集, 横向上主要分布在断裂带附近。辽东湾断陷的油气成藏模式可划分为单向单源单一潜山型、单向单一古储型、复合古储型、单向深源复合新储型和自生自储自盖型5大类15个亚类。潜山型油气藏主要分布在辽西低凸起北段和中段, 成藏主控因素为流体动力和潜山物性; 单一古储型油气藏主要分布在辽西、辽中凹陷的洼陷带和陡坡带, 成藏主要受断层控制, 烃源岩成熟度控制了油气性质; 复合古储型油气藏主要分布在辽西低凸起中北段和辽中凹陷南洼缓坡带, 成藏主控因素主要为流体动力和疏导通道; 新储型油气藏主要分布在辽东湾南部大断层附近, 油气富集主要受盖层和新近系断裂活动的共同控制; 自生自储自盖油气藏主要分布在生烃洼陷烃源岩内部, 主要受储层物性的影响。

关键词: 油气; 成藏特征; 成藏模式; 主控因素; 辽东湾断陷; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2014)10-1407-14

收稿日期: 2014-01-11

Hydrocarbon Accumulation Models and Main Controlling Factors in Liaodong Bay Depression

Yang Baolin^{1,2}, Ye Jiaren^{1,2}, Wang Zisong³, Xue Haiqin⁴

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063004, China

4. Jiangcheng College of China University of Geosciences, Wuhan 430200, China

Abstract: To further explore the hydrocarbon accumulation mechanism in Liaodong bay depression, its typical accumulation models are summarized and grouped, and the main controlling factors of each model are studied in this paper based on the analyses of hydrocarbon accumulation conditions and characteristics using seismic, drilling, geochemical and oil testing data. The research results show that Liaodong bay depression has superior hydrocarbon accumulation conditions including three sets of source rocks (E_s_3 , E_s_1 and E_d_3), three reservoir-cap assemblages (upper, middle and lower), multi-type of conducting medium, and the oil and gas reservoirs which have been found are mainly tectonic reservoirs. The distribution rule of reservoirs is rich in Pre-E, E_d_2 and vertical E_{s1+2} formation and abundant in the transverse fault zones. The hydrocarbon accumulation models of Liaodong bay depression can be grouped into 5 major types and 15 sub-types, including one-direction single-source single-migration path Pre-E reservoir, one-direction single-migration path Palaeocene reservoir, complex-migration path Palaeocene reservoir, one-direction deep-source complex-migration path Neogene reservoir and self-source-reservoir-capping reservoir. The Pre-E reservoir is mainly distributed in the northern and central sections of Liaoxi low uplift and the main controlling factors are

hydrodynamic and physical property of Pre-E formation. Single-migration path Palaeocene reservoirs are mainly distributed in the sag zones and steep slope zones of Liaozi and Liaozhong sag, and the main controlling factors are fault and maturity of the source rock. Complex-migration path Palaeocene reservoirs are mainly distributed in the northern and central sections of Liaozi low uplift and the gentle slope zone of Liaozhong southern sag, and the main controlling factors are hydrodynamic and migration path. Neogene reservoirs are mainly distributed in the fault zones of southern part of Liaodong bay depression, and the hydrocarbon accumulation of this type is mainly controlled by cap rock and the faulting of Neogene. Self-source-reservoir-capping reservoirs are mainly formed in the inner part of the source rock, and mainly influenced by the physical property of the reservoir.

Key words: hydrocarbon; accumulation characteristic; accumulation model; main controlling factor; Liaodong bay depression; petroleum geology.

随着含油气盆地勘探程度的不断提高,勘探发现难度将不断增大,油气成藏模式的建立及主控因素的深入研究对盆地油气勘探部署和增储上产具有重要的意义。油气藏的形成受控于生、储、盖、运、圈、保等成藏地质要素的发育状况及其时空配置关系,任何一个要素都有可能成为某一个地区的成藏主控因素。如胡朝元(1982)提出的“源控论”指出烃源岩的发育位置控制了油气的分布范围;童晓光和牛嘉玉(1989)认为区域盖层的发育特点基本上决定了油气聚集条件,盖层厚度与油气藏高度具有正比关系;周心怀等(2009b)认为沿主干断裂走向断层活动速率的变化影响着油气的输导与保存;卓勤功等(2005)通过对输导体系空间展布对油气控制机理的研究,指出输导体系类型决定了油气藏的类型,输导体系形态组合控制了油气藏的分布,输导体系空间和时间的有效性控制着油气的运聚,隐蔽输导体系控制洼陷带岩性圈闭油气成藏;此外,还有诸如“断块圈闭控藏模式”(冷济高等,2011)、“古隆起控藏”(贾庆素等,2007)、“相—势耦合控藏”(庞雄奇等,2007)等都说明油气成藏是一个受多因素制约的复杂过程。

辽东湾地区自 1979 年勘探至今,共钻圈闭 58 个,发现含油气构造 41 个,油气田 18 个,商业成功率 31%,探明石油地质储量 $6.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气地质储量 $375 \times 10^8 \text{ m}^3$,发现油气储量占整个渤海海域的 34.6%,具有丰富的油气资源和巨大的勘探潜力。对于辽东湾断陷的油气地质条件与成藏特征,前人展开过较多的研究,如盆地热历史(胡圣标等,2000)、构造特征及演化(范军侠等,2006)、烃源岩发育演化与油源对比(高先志等,1991;李友川和黄正吉,2002;田金强等,2011)、层序地层划分及沉积体系分布(周心怀等,2009a)、成岩作用及储层质量(周心怀等,2009a;朱峰等,2009)、输导体系特征(徐田武等,2008)、油气成藏条件及其与油气成藏的关系等(周心怀等,2008;宗奕等,2009),但综合性研究特

别是全区范围内针对油气成藏模式的建立和分类以及成藏主控因素的剖析较少,制约了辽东湾断陷油气成藏机理研究的深化和勘探的进程。本文利用地震、钻井、地化、试油等资料,分析了辽东湾地区油气藏基本特征,总结建立了典型油气成藏模式,并对比分析不同成藏模式的主控因素,以加深对成藏模式和主控因素的认识,为辽东湾断陷下一步油气勘探及类似盆地(凹陷)的油气勘探提供依据。

1 地质背景

辽东湾断陷位于渤海海域的东北部,长约 160 km,宽约 40 km,面积约 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,由 5 个近乎平行呈 NNE 向展布的次级构造单元组成,自西向东分别为辽西凹陷、辽西低凸起、辽中凹陷、辽东低凸起和辽东凹陷,形成“三凹夹两凸”的构造格局(图 1)。在 3 个凹陷中,辽中凹陷面积最大,古近系厚度大、埋藏深,辽西凹陷次之,辽东凹陷面积小,埋藏浅。辽西凹陷和辽中凹陷均表现为东断西超的典型半地堑箕状断陷,是辽东湾断陷的两个主力生烃凹陷,并都可进一步划分为北、中、南 3 个洼陷。辽东湾断陷的形成和演化可以分为 3 个阶段:古新世—始新世中期(56~38 Ma)的伸展裂陷阶段、始新世晚期—渐新世早期(38.0~32.8 Ma)的第一裂后热沉降阶段和渐新世东营期的走滑拉分再次裂陷阶段(32.8~24.6 Ma),新近纪以后辽东湾进入整体的坳陷下沉阶段。辽东湾断陷以新生代沉积为主,其基底为太古宇、中上元古界变质岩、花岗岩,古生界碳酸盐岩和中生界火成岩,沉积盖层由古近系和新近系组成,自下而上依次为古近系孔店组(Ek)、沙河街组(Es)、东营组(Ed),新近系馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)以及第四系平原组(Qp),其中古近系东营组和沙河街组是油气勘探的主要目的层。东营组以湖相和三角洲相沉积为主,自

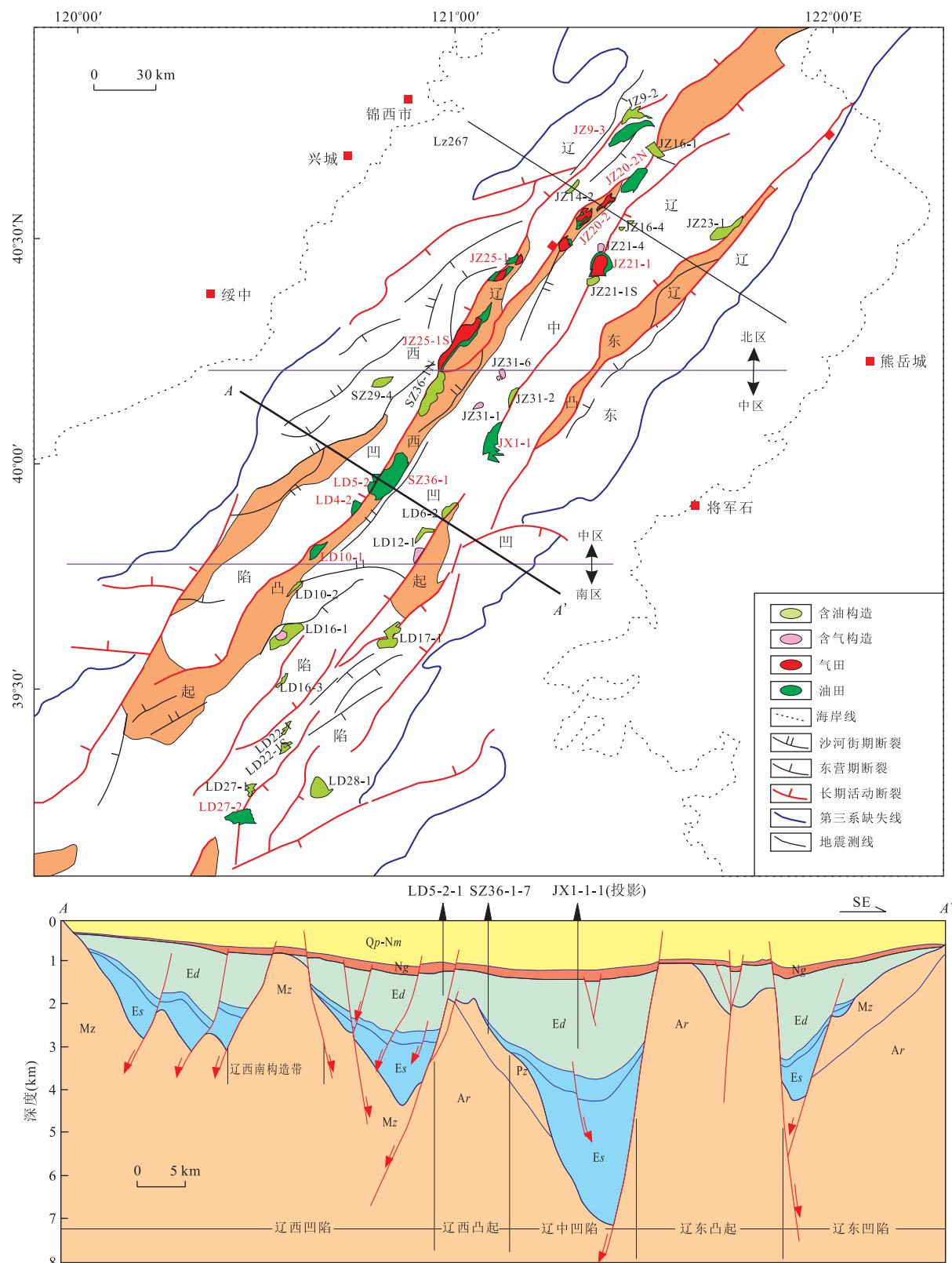


图 1 辽东湾断陷地质综合图

Fig.1 The geology comprehensive map of Liaodong bay depression

下而上又可分为东三段($E_3 d_3$)、东二段($E_3 d_2$)和东一段($E_3 d_1$)，沙河街组发育湖相、扇三角洲和碳酸盐台

地等沉积相，自下而上又可分为沙三段($E_2 s_3$)、沙二段($E_2 s_2$)和沙一段($E_2 s_1$)。

2 成藏条件与特征

2.1 烃源岩

全区发育3套烃源岩(表1),分别是 $E_2 s_3$ 、 $E_3 s_1$ 和 $E_3 d_3$,其中 $E_2 s_3$ 烃源岩有机质丰度高,有机质含量大部分>2.0%,氯仿沥青含量大部分>0.45%,总烃含量大部分> 1000×10^{-6} ,生烃潜量绝大多数>6.0%,总体质量达好—极好的级别,厚度大,成熟度高,除小部分未达到成熟阶段之外,其余基本进入成熟阶段,成熟度主要分布在0.5%~0.7%之间,部分烃源岩达到中成熟,在辽中凹陷地层埋藏较深的地方有些烃源岩甚至达到了高成熟、过成熟阶段,是主力烃源岩,对本区探明储量贡献最大; $E_3 s_1$ 烃源岩有机质丰度也很高,各项指标跟沙三段差别不大,总体质量亦达好—极好级别,成熟度较高,成熟度主要分布在0.50%~0.55%之间,但是因为厚度较小,成烃贡献较小; $E_3 d_3$ 烃源岩厚度最大,有机质丰度较高,总体质量达中等—好的级别,但成熟度普遍偏低,75%的烃源岩都未达到成熟阶段,只在辽中北洼有成烃贡献。

2.2 储层

辽东湾地区油气储层类型多样,既有三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、湖底扇及浊积扇等碎屑岩储层,也有潜山花岗岩裂缝型储层、火山岩储层以及灰岩裂缝—孔洞型储层,同时还存在台地相生物粒屑白云岩和白云质砾岩储层。储层质量整体良好,为I、II类储层。东二段三角洲砂体储层在辽西凹陷、辽西低凸起和辽中凹陷均为I类,东三段和沙一二段储层在辽西低凸起为I、II类,而其他地区储层质量相对较差(朱峰等,2009)。全区范围而言储层孔隙度多分布在15%~35%,渗透率差异较大,主要分布在< $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 或> $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,这可能是由于不同地区成岩作用的差异而造成的(周心怀等,2009a)。主要油田油

气层的孔隙度普遍较高,大部分孔隙度在15%~20%之间,渗透率西高东低,即辽西凹陷普遍较高,越往东渗透率越低(图2)。

2.3 盖层

$E_2 s_3$ 和 $E_3 d_2^L-E_3 d_3$ 为全区范围内浅湖相、半深湖相沉积时期,发育厚度大、分布广而稳定的大套泥岩,是良好的盖层,辽东湾地区泥岩发育深浅两套强烈欠压实—超压体系,为油气运移提供了较充足的动力,同时还为油气保存提供了强大的封盖能力。其中, $E_3 d_2^L-E_3 d_3$ 欠压实—超压体系超压强度大,分布范围广,横跨辽西凸起,深层 $E_2 s_3$ 欠压实—超压体系在强度和范围上均小于浅层超压(周心怀等,2009a)。

2.4 储盖组合

辽东湾断陷的储盖组合可大致划分为3套(图3):(1)上组合($E_3 d_2^U-E_3 d_2^L$):储层为东二段三角洲相I类储层,盖层主要为东二下段的滨浅湖相泥岩(已发现油田主要有JZ20-2、JZ21-1、LD5-2、LD10-1、LD4-2等);(2)中组合($E_3 d_3-E_3 s_{1+2}$):储层为沙一二段扇三角洲、近岸水下扇和碎屑岩滩坝相I、II类储层,盖层主要为东三段区域盖层(典型油田有JX1-1、JZ9-3);(3)下组合($E_2 s_3$ -Pre-E):储层为沙三段扇三角洲、近岸水下扇和浊积扇沉积及潜山变质岩,为II类储层,盖层为沙三段区域盖层(典型油田有JZ20-2、JZ25-1S)。

2.5 圈闭类型及油气来源

辽东湾断陷的圈闭类型较为单一,现已发现的油气藏主要为断背斜、半背斜、断鼻、断块、块断低潜山及潜山披覆背斜等构造型圈闭(图4),还有少量的潜山地层圈闭(JZ22-1)和构造—岩性复合圈闭(JZ31-6、LD28-1)。

前人已对辽东湾断陷的油气来源作了较为深入的分析(蒋恕等,2007;滕玉波等,2007;王元君,2008;周心怀等,2009a;田金强等,2011;田立新等,

表1 辽东湾断陷烃源岩特征统计

Table 1 The source rock statistical table of Liaodong bay depression

层段	统计值	有机碳含量(%)	氯仿沥青“A”含量(%)	总烃含量(10^{-6})	生烃潜量(mg/g)	成熟度(%)
全区	范围	0.50~4.74	0.010 2~1.342 5	27.78~8 505.69	0.02~39.99	0.26~2.09
	均值/样品数	1.62/1 033	0.180 9/1 147	898.36/1 147	6.5/1 034	0.473 5/1 089
东三段	范围	0.52~4.74	0.019 9~0.526 0	58.53~2 686.00	0.03~39.99	0.28~0.99
	均值/样品数	1.50/472	0.107 6/333	412.78/333	5.9/374	0.473 9/330
沙一段	范围	0.50~3.86	0.006 1~1.316 6	27.11~7 488.26	0.02~33.18	0.46~0.79
	均值/样品数	1.80/185	0.175 6/616	1 157.28/616	7.7/188	0.503 6/69
沙三段	范围	0.50~4.49	0.011 4~1.342 5	60.35~8 505.69	0.06~34.19	0.28~2.09
	均值/样品数	1.64/376	0.253 0/198	1 049.20/198	6.5/472	0.566 9/256

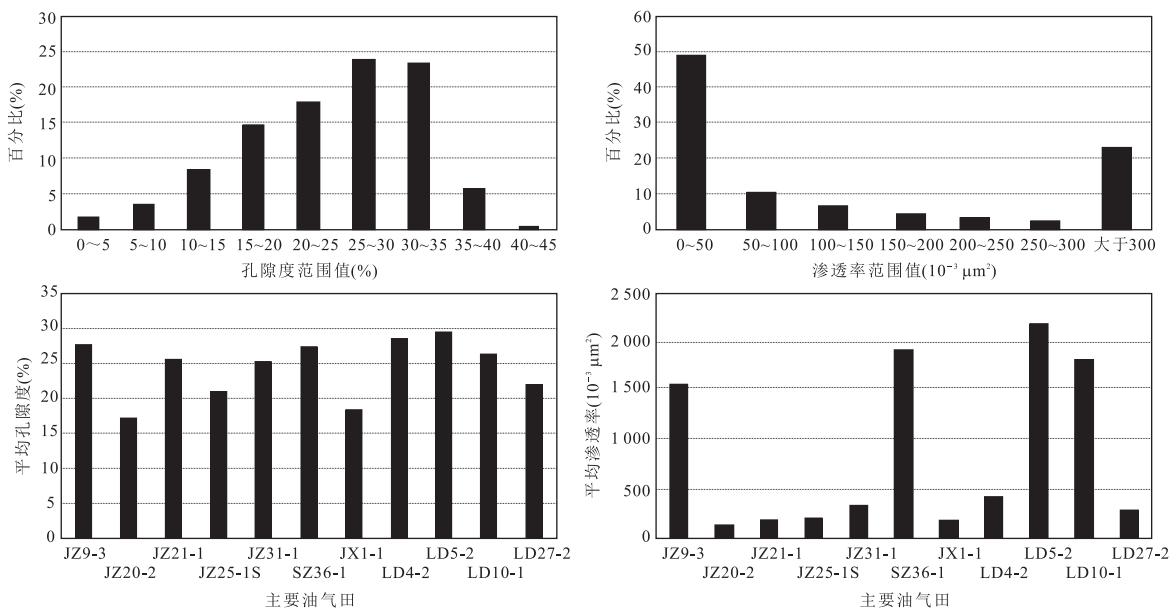


图 2 辽东湾断陷全区及主要油气田储层物性分布直方图

Fig.2 The pore ratio and permeability distribution histogram of main reservoirs in Liaodong bay depression

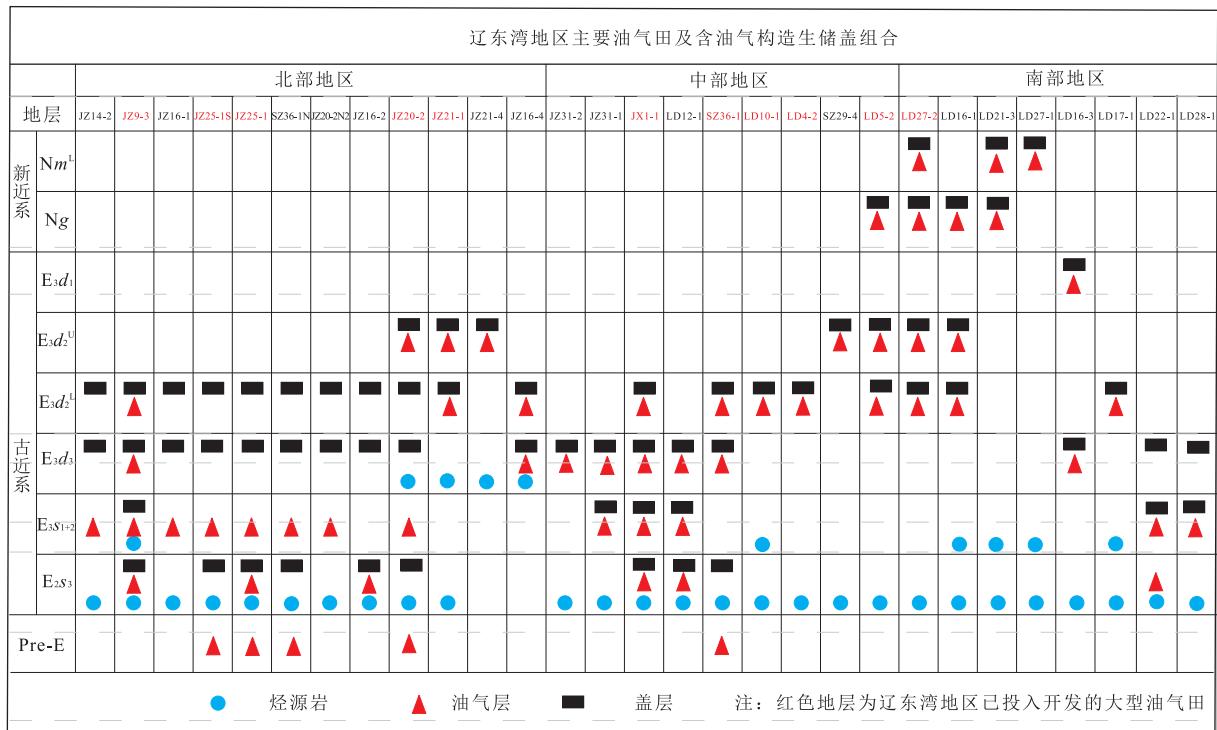


图 3 辽东湾地区主要油气藏生储盖组合

Fig.3 The source-reservoir-cap assemblage of major oil and gas reservoirs in Liaodong bay area

2011),在此不再赘述相关地球化学依据,笔者结合前人研究成果,总结归纳了辽东湾断陷典型油气田(藏)的油气来源(图 4).从图 4 可以看出,已发现油气田(藏)油气主要来自沙河街组烃源岩,多为沙三、沙一

混合供烃,少部分油气藏为沙三段单独供烃形成;以东三段为油源形成的油气藏只分布在辽中北洼.

2.6 输导体系

辽东湾断陷输导介质有断层、不整合面、砂体等

所属构造	油气田(藏)	油气层位	圈闭类型	储层类型	油气来源
辽西凹陷	JZ9-3	E ₃ d ₂ ^L	拉张断鼻	三角洲前缘亚相	沙三沙一混合型
	LD5-2	E ₃ d ₂	断块	三角洲前缘亚相	辽西南洼沙三段
辽西低凸起	JZ20-2	E ₃ d ₂ ^U	潜山背斜	三角洲前缘亚相	辽中北洼东三段
		E ₃ S ₁₊₂	潜山背斜	沙一段台坪相生物 粒屑白云岩 沙二段白云质砾岩	辽中北洼沙三段
		Pre-E	断块低潜山	火山岩、混合花岗 岩裂隙储层	辽中北洼沙三段
	JZ25-1	E ₃ S ₃		辫状河三角洲 扇三角洲	辽西北洼和中洼 沙三段
	JZ25-1S	E ₃ S ₂ (well-4D)	半背斜	近岸水下扇 扇三角洲	辽中凹陷沙三段
		E ₃ S ₂ (well-2)	半背斜		辽西凹陷沙三段
		(well-4D)	块断低潜山	变质花岗岩裂缝	辽中凹陷沙三段
		Pre-E (well-2)	块断低潜山	孔隙储层	辽中凹陷沙三段
辽中凹陷	SZ36-1	E ₃ d ₂ ^L	拉张半背斜	三角洲前缘亚相	辽中南洼和中洼 沙三段
		Pre-E	不整合遮挡圈闭	寒武-奥陶灰岩	辽中中洼沙三段
	LD10-1		披覆半背斜	三角洲前缘亚相	沙三沙一混合型
	JZ21-1	E ₃ d ₂	重力断背斜	三角洲前缘 河口沙坝	辽中北洼东三段
	JZ31-1	E ₃ d ₃ 、E ₃ S ₁	断背斜	湖底扇	辽中中洼沙三段
		E ₃ d ₂	岩性圈闭	浊积扇	辽中中洼 东营组生物气
	JX1-1	E ₃ d ₂ ^L 、E ₃ S ₁₊₂	半背斜、断块	东二下三角洲前缘 亚相、沙一二段扇 三角洲前缘亚相	辽中中洼沙三段
	LD16-1	E ₃ d ₂ ^L 、Ng	拉张断背斜	三角洲前缘亚相	沙三沙一混合型
	LD27-2	E ₃ d ₂ ^L 、Ng、Nm	断块	三角洲前缘、河道	辽中南洼沙三段
	LD28-1	E ₃ S ₂	岩性圈闭	湖底扇	辽中南洼沙三段

图4 辽东湾断陷典型油气藏特征

Fig.4 The characteristics of typical reservoirs in Liaodong bay depression

多种类型,构成复杂的输导体系。根据断层、不整合面和砂体的组合特征,可将辽东湾地区输导体系划分为断层型、不整合面型、断层—砂体型和不整合—断层—砂体型4种主要类型,不同油气藏输导体系组合不同(图5)。

2.6.1 断层型 辽东湾断陷主要发育了东营期断裂、沙河街期断裂和长期活动断裂3种断裂(图1),其中长期活动断裂是油气运移的主要通道。在洼陷带,如JZ9-3(图5a)、JZ21-1(图5b)、JX1-1(图5c)、LD27-2(图5d)等油气藏是油气通过长期活动断裂垂向运移聚集形成。在陡坡带,边界大断裂下降盘烃源岩生成的油气能够较容易地沿断层进行垂向运移,在同盘有利砂体中聚集成藏,形成LD5-2(图5e)、LD4-2、LD12-1、JZ23-1等油田(藏)。在缓坡带(如JZ31-1气藏),与辽中1号走滑断裂带倾向相反的派生系列雁列式断层为油气主要运移通道(图5i)。在凸起带发现的JZ25-1油田、JZ25-1S(4D井区)潜山油藏和沙二段油气藏(图5g)也是由沿陡坡

带边界断层垂向输导的油气聚集形成。

2.6.2 不整合面型 辽东湾断陷自下而上发育古近系/基底、沙河街组/孔店组、沙一段/沙二段以及新近系/古近系共4个不整合面,其中古近系/基底不整合面平均孔隙度为10.67%,具有良好的孔渗性,是全区重要的油气输导通道。如在辽中北洼,由于其内部缺乏大型油源断层,沙三段烃源岩生成的油气难以进行垂向运移,只能在本段强烈超压的驱动下先经初次运移进入侧向的砂体“中转站”,后沿不整合面进行侧向长距离运移或经初次运移后直接沿不整合面进行侧向长距离运移,在辽西低凸起形成JZ20-2潜山油气藏、JZ25-1S(2井区)(图5g)和SZ36-1(图5h)两个潜山油藏的油气运移通道与此类似。

2.6.3 断层—砂体型 辽东湾断陷砂体发育,其中沙河街组砂体主要有扇三角洲、近岸水下扇、浊积扇等,在全区范围内叠合连片,横向展布范围广,形成较好的输导通道体系,而东营组砂体更是以孔渗性极好的三角洲相为主,其展布范围超过全区的80%。

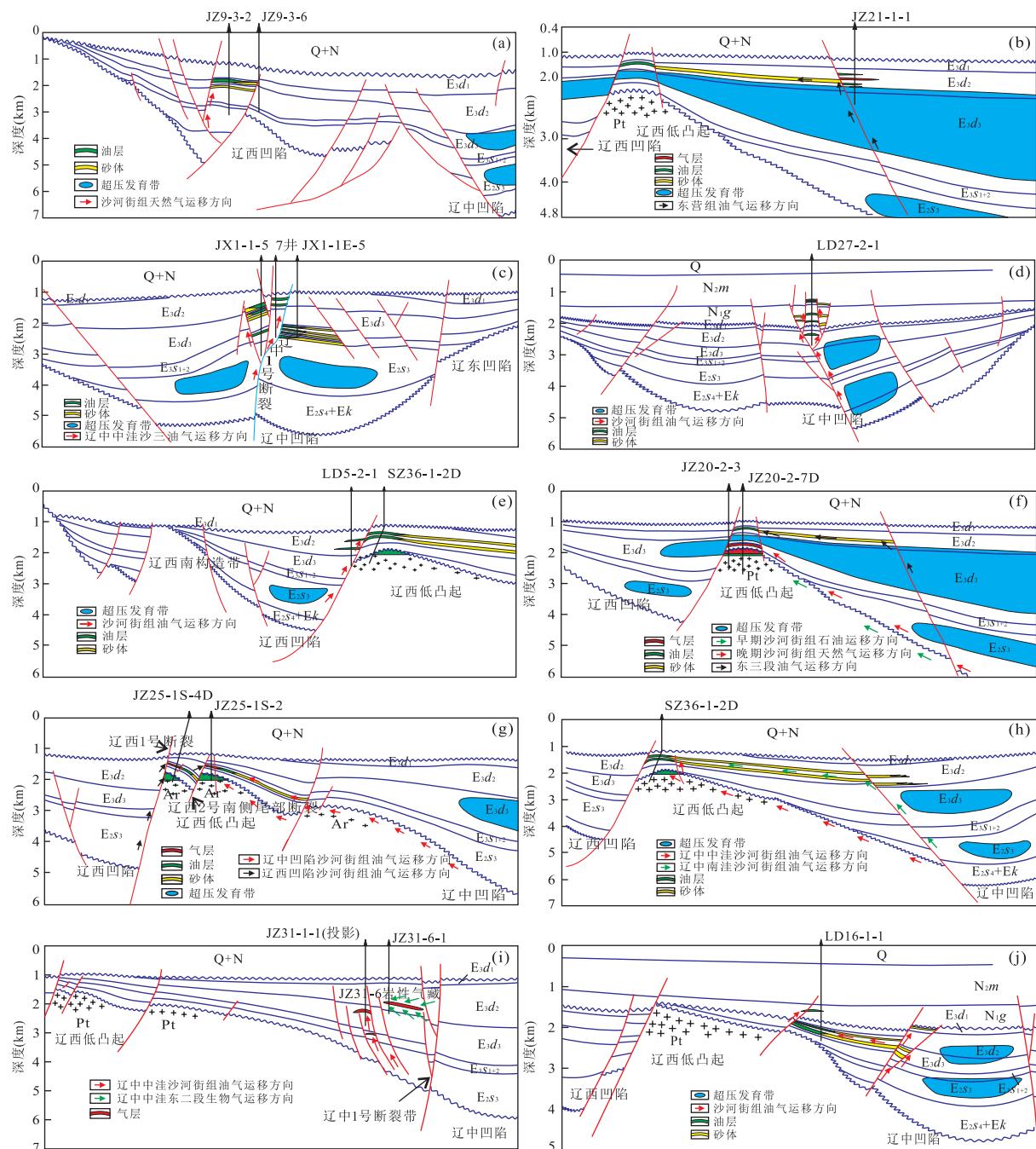


图 5 辽东湾地区典型油气藏剖面示意图

Fig.5 The profiles of main reservoirs in Liaodong bay area

a.JZ9-3; b.JZ21-1; c.JX1-1; d.LD27-2; e.LD5-2; f.JZ20-2; g.JZ25-1S; h.SZ36-1; i.JZ31-1; j.LD16-1

断层—砂体型主要分布在辽中凹陷洼陷带经斜坡到凸起一带,典型油气藏有位于凸起带的JZ20-2东二上亚段油藏和SZ36-1东二下亚段油藏以及斜坡带的LD16-1油藏(图5j)。

JZ20-2东二上亚段油藏的油源为东三段,油气的运移通道为洼陷内部大型油源断裂和被该断裂错断的从辽西低凸起伸入洼陷带的东二段大型三角洲砂体组成的复合型输导体系。SZ36-1东二下亚段油

藏的输导体系由辽西低凸起中段向南推进到辽中南洼附近的缓中三角洲砂体与南洼内部的大型油源断层复合构成。

2.6.4 不整合—断层—砂体型 以该种输导体系为油气运移通道形成油气藏的实例为JZ25-1S(2井区)沙一二段油气藏(图5g),其油气来自两侧凹陷:辽西凹陷油气以断层为主要运移通道,辽中凹陷油气先后沿不整合面、断层和砂体运移,两个方向的油

气在圈闭内混合成藏。

2.7 油气成藏期次

辽东湾断陷不同次级洼陷之间的烃源岩热演化程度不尽相同,导致成藏时间上存在一定差异,辽中南洼沙河街组烃源岩生排烃时期较晚,另外辽中北洼东三段烃源岩在晚期也进入生排烃阶段,相应成藏时间也较晚。JZ20-2 凝析气田沙河街组及潜山深部储层经历了东营组沉积期末的石油和明化镇组下段沉积时期的天然气两期充注过程,且明化镇组下段沉积时期充注的天然气会排驱先期聚集的石油,形成现今凝析气藏(何炳骏,1992)。JZ25-1 油田沙三段储层也经历了两期油气充注,第 1 期流体包裹体丰度低、成熟度低,油气成藏贡献小;第 2 期包裹体丰度高,是油田的主要形成期,油气充注时间大约为 23~21 Ma(邓津辉等,2008)。JZ20-2 凝析气田东二下亚段油藏浅部储层只在馆陶组沉积末期经历了东三段烃源岩生成油气的一期充注(何炳骏,1992)。JZ25-1S 油气田沙河街组油气藏是油气在东一段沉积末期一次性充注形成的,成藏时间为 24~20 Ma,同时油气田内部的潜山油藏与沙河街组油气藏具有相同的形式期。

2.8 油气分布

2.8.1 纵向分布 辽东湾断陷油气纵向分布总体上含油气层系众多,从潜山到新近系,几乎所有层段均有油气发现(图 3),其中以东二段、潜山和沙一二段发现油气藏数量最多,东三段和潜山其次,新近系最少;含油气层系从北向南表现为年代由老到新、深度由深到浅,主要含油气层位纵向跨度由小到大的趋势:北区主要含油气层位为沙一二段和潜山,东二段发现少量油气;中区主要含油气层系为沙一二段、东三段和东二段,潜山也有少量油气分布;南区含油气层位从沙三段到新近系明化镇组均有分布;对温压系统的分析研究表明,辽东湾断陷属于高压型复式温压系统,浅部为静压型,深部为超压型,分界线大致对应东三段地层,全区 72.1% 的探明油气储量集中在紧邻深部高压型温压系统上边缘的东二段正常温压系统中,这是因为深浅两套温压系统间的能力差较大,深部超压为油气提供了强大的垂向运移动力,油气在超压驱动下沿断裂向上运移至超压系统边缘及浅部静压系统内部(图 6)。

2.8.2 平面分布 在构造部位上,辽东湾断陷现今发现的油气田绝大多数都分布在大型长期活动断裂附近(图 1),其中辽西低凸起是辽西大断裂翘倾形成的带状基底古隆起,被辽西凹陷和辽中凹陷两个

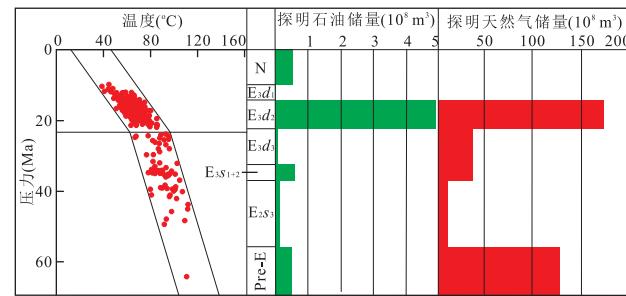


图 6 辽东湾地区温压系统与油气分布关系

Fig.6 Relation of the temperature-pressure system and the oil and gas distribution in Liaodong bay

主力生烃凹陷所夹持,具有极佳的烃类运聚条件,是最有利的油气富集区,现已在该构造单元上发现了 JZ20-2、JZ20-2N、JZ25-1、JZ25-1S、SZ36-1 等大型油气田,其油气储量占全区的 85.0%。在地理位置上,原油主要分布在中洼附近,其中 SZ36-1、JZ25-1S、JX1-1 三个油田探明储量占全区的 66.7%;天然气主要分布在北部地区,其探明储量占全区的 88.8%。

3 油气成藏模式划分及分布特征

3.1 成藏模式划分

基于上述成藏条件与特征的分析,根据供烃凹陷、油气来源、输导体系及油气储层等可将辽东湾断陷的油气成藏模式区分为 5 大类(图 7, 图 8):单向单源单一潜山型(A)、单向单一古储型(B)、复合古储型(C)、单向深源复合新储型(D)和自生自储自盖型(E)。各大类成藏模式依据不同的特征又可进一步划分为 15 种不同的亚类(图 7)。“单向”指仅一个凹陷单独供烃,“双向”指两个凹陷共同供烃,油气混合聚集成藏;“单源”指油气来自一套烃源岩;“双源”指油气来自两套烃源岩;“单一”和“复合”指输导体系的种类;“潜山型”、“古储型”和“新储型”分别指的是油气藏的储层为潜山、古近系和新近系;“早期”型油气藏成藏期为构造抬升期,相对于渤海湾盆地其他油气藏时间较早,而“晚期”型的成藏期在新近纪;油气藏充注期次有单期和双期两种,无特别指明的为单期充注。

3.1.1 A 模式 该类油气藏的共同点是储层为前古近系潜山,都由辽中凹陷单独供烃,油源均来自沙三段烃源岩,输导通道为单要素型。根据输导通道类型和充注期次,进一步划分为不整合早期型(如 SZ36-1 潜山油藏和 JZ25-1S(2 井区)潜山油藏)、断

成藏模式大类		成藏模式亚类		典型实例		供烃凹陷	主控因素		
类型	划分依据	类型	划分依据	油气藏及层位	位置				
单向单源单一潜山型 (A)	供烃凹陷 油气来源 输导体系 油气储层	不整合早期型	疏导通道 充注期次	SZ36-1(Pre-E)	辽西低凸起中段	辽中凹陷	流体动力 潜山物性		
	JZ25-1S-2(Pre-E)			辽西低凸起北段					
	不整合双期型			JZ20-2(Pre-E)	辽西低凸起北段	辽西凹陷			
				JZ25-1S-4D(Pre-E)	辽西低凸起北段				
单向单一古储型 (B)	供烃凹陷 输导体系 油气储层	浅源晚期型	油源层位 充注期次	JZ21-1(Ed ₁)	辽中凹陷北洼	辽中凹陷	断层 成熟度		
				JZ16-4(Ed ₁)	辽中凹陷北洼				
		深源早期型		JX1-1(Ed ₁ -Es ₁₊₂)	辽中凹陷中洼	辽中凹陷			
				LD12-1(Ed ₁)	辽中凹陷南洼				
		深源晚期型		LD4-2(Ed ₁)	辽西凹陷北洼	辽西凹陷			
		深源双期型		LD22-1(E _{S1+2} 、Es ₁)	辽中凹陷南洼	辽中凹陷			
复合古储型 (C)	输导体系 油气储层	双源早期型	供烃凹陷 油源层位 充注期次	JZ25-1(E _{S1+2} 、Es ₁)	辽西低凸起北段	辽西凹陷	流体动力 输导通道		
				JZ9-3(Ed ₁ 、Ed ₂)	辽西凹陷北洼				
		单向深源双期型		JZ20-2(Es ₁₊₂)	辽西低凸起北段	辽中凹陷			
				SZ36-1(Ed ₁)	辽西低凸起中段				
单向深源复合新储型 (D)	供烃凹陷 油气来源 输导体系 油气储层	单向浅源晚期型		JZ20-2(Ed ₁)	辽西低凸起北段	辽中凹陷	盖层 断层活动		
				LD16-1(Ed ₁)	辽中凹陷南洼				
		单向双源晚期型		LD10-1(Ed ₁)	辽中凹陷南洼	辽西凹陷 辽中凹陷			
				JZ25-1S-2(Es ₂)	辽西低凸起北段				
自生自储自盖型(E)	生储盖	早期型	充注期次	LD5-2(Ng)	辽西凹陷南洼	辽西凹陷	储层物性		
				LD16-1(Ng)	辽中凹陷南洼				
		晚期型		LD27-2(N _g 、Nm)	辽中凹陷南洼	辽中凹陷			
				LD27-1(Nm)	辽中凹陷				
		源内同期型		LD28-1(Es ₂)、JZ31-6(Ed ₁)	辽中凹陷	辽中凹陷			

图 7 辽东湾地区油气成藏模式划分及其主控因素

Fig.7 Division of models and main controlling factors of the hydrocarbon accumulation in Liaodong bay area

裂早期型(如 JZ25-1S(4D 井区)潜山油藏)和不整合双期晚成型(如 JZ20-2 潜山气藏)3 个亚类,它们均存在油气早期充注,但 JZ20-2 潜山气藏在天然气晚期充注后才最终形成现今的状态,所以划分为不整合双期晚成型。

3.1.2 B 模式 此类油气藏由辽中凹陷或辽西凹陷单独供烃,油气主要以油源断层为输导通道进行垂向运移。该类模式油气藏分布层位多(除东一段外其它古近系地层均有分布)、范围广(油源断层发育的区带,如洼陷带、陡坡带及凸起带均有分布)。根据油源层位及充注期次进一步划分为浅源晚期型、深源早期型、深源晚期型、深源双期型和双源早期型 5 个亚类。浅源晚期型油气藏主要位于辽中北洼,分布在辽中 1 号走滑断裂带附近,油源来自东三段烃源岩(如 JZ21-1、JZ16-4 等)。深源早期型油气藏分布较广,如洼陷带的 JX1-1,陡坡带的 LD5-2、LD4-2、LD12-1 以及辽西低凸起带上的 JZ25-1S(4D 井区)沙一二段等油气藏,油气来自沙三段烃源岩。深源晚期型油气藏有 LD27-2 油田和 LD22-1 油田等油气藏,主要分布在辽中凹陷南部。JZ25-1 油田是深源双期型的典型代表。双源早期型的典型代表为 JZ9-3 油田,其油源来自沙一段和沙三段两套烃源岩。

3.1.3 C 模式 该类油气藏主要特征是输导体系较为复杂,油气都经过较长距离的运移,成藏层位集中分布在东二段,其次为沙一二段。根据供烃凹陷、油源层位和充注期次分为单向深源双期型、单向浅源

晚期型、单向双源晚期型和双向深源早期型 4 个亚类。单向深源双期型的代表实例有 JZ20-2 沙一二段凝析气藏和 SZ36-1 东二下亚段油藏,前者由辽中凹陷北洼沙三段烃源岩供烃,输导体系为不整合面—断裂复合型,油气整体运移趋势为侧向运聚,经历了东营组沉积末的石油充注和明化镇组沉积末的天然气充注,两期充注形成;后者由辽中凹陷中洼和南洼沙三段烃源岩供烃,中洼油气以不整合面—断裂为输导通道,南洼油气则以断裂—砂体为输导体系进行大规模运聚,成为该油藏的主力(周心怀,2009a)。单向浅源晚期型的典型代表为 JZ20-2 东二段油藏,原油来自辽中凹陷东三段烃源岩,输导体系为断层—砂体复合型,经历了馆陶组沉积末一期充注。LD16-1 和 LD10-1 油藏是单向双源晚期型的代表,二者东二下段油气藏原油都来自辽中凹陷沙一段和沙三段两套烃源岩。JZ25-1S(2 井区)沙二段油气藏是目前全区发现的唯一双向混合供烃的实例,油源既有辽西凹陷的贡献,也有辽中凹陷的贡献。

3.1.4 D 模式 该类油气藏最明显的共同特征是储层均为新近系地层,且在深部存在断层—砂体油气运移的“中转站”,由于继承性发育的大断层在沙三段沉积时期的剧烈活动,其上升盘为下降盘提供了碎屑物源,在下降盘形成了近岸水下扇砂体。这些扇体的根部与大断层接触,而前缘则与烃源岩呈“指状”大面积接触,油气先进入砂体,当砂体内的油气达到一定饱和度后,沿断层垂向运移至上部储层,形

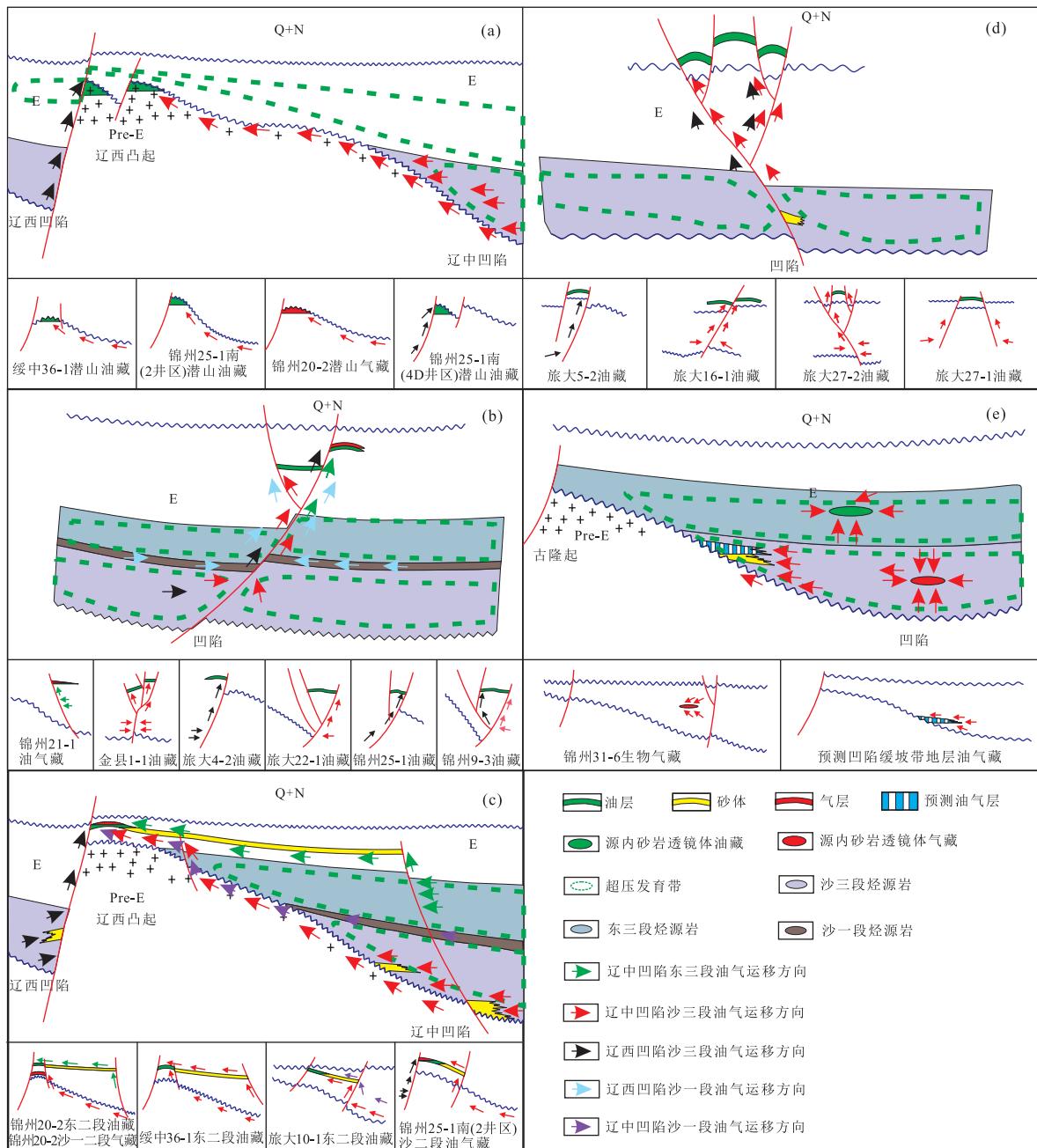


图 8 辽东湾断陷油气成藏模式综合图

Fig.8 The comprehensive map of the accumulation models in Liaodong bay depression

成砂体—断层复合输导体系,为油气运移提供了良好的通道。各油气藏由所处位置就近凹陷单独供烃, LD5-2 油气藏原油来自辽西凹陷南洼沙三段烃源岩, LD16-1、LD27-1、LD27-2 油气藏原油来自辽中凹陷沙三段烃源岩。

3.1.5 E 模式 油气在烃源岩同层段内部的砂体中聚集成藏,称为自生自储自盖型油气藏,如 LD28-1 油藏。这些砂体包括烃源岩沉积时期在凹陷边缘和源岩内部形成的各种扇体,它们的成藏期与源岩主

生排烃期基本一致,具有“同期”特征。JZ31-6 透镜体气藏位于东二段大套泥岩中,内部天然气为未成熟的东二段泥岩早期生成的生物气(滕玉波等,2007),但该气藏形成过程与常规透镜体油气藏相似,其存在也指示了源岩内常规透镜体油气藏的存在,因此,它们的成藏模式均为源内同期型成藏。

3.2 成藏模式分布特征

不同成藏模式的油气藏分布具有明显的区域特征,其中单一潜山型模式油气藏分布范围比较集中,

主要在辽西凸起北段和中段;古储型模式是全区最为典型和重要的油气成藏模式,辽东湾断陷目前发现的油气藏大部分属于这类模式,其资源储量占整个辽东湾储量的 80%,在全区各构造单元均有分布,其中单一古储型油气藏主要分布在辽西、辽中凹陷的洼陷带和陡坡带;复合古储型油气藏主要分布在辽西低凸起中北段和辽中凹陷南洼缓坡带;新储型模式油气藏主要分布在辽东湾南部地区的大断层附近;自生自储自盖型油气藏主要分布在生烃洼陷烃源岩内部。

4 成藏主控因素

辽东湾地区不同成藏模式的成藏特征不同,成藏主控因素各异(图 7)。

4.1 单向单源单一潜山型

该类油气藏中大部分油气运移距离较远,油气成藏主要受到流体动力、潜山物性 2 种要素的控制。

4.1.1 流体动力 油气沿不整合面进行侧向长距离运聚成藏,必须具有充足的动力。辽东湾地区产生强烈超压的主要原因是欠压实和生烃增压(周心怀等,2009a),沙三段烃源岩在东营组沉积末期处于生排烃高峰期,内部发育强烈超压(图 9),且超压在构造抬升期得以释放,这种过程为侧向排烃提供了强大的驱动力。全区沙三段沉积厚度大,直接上超在基底不整合面上;同时各种扇体发育在该套地层边缘,呈指状伸入源岩内部,砂体根部与基底不整合面直接接触。这些都为源岩的侧向排烃提供了良好条件。强大驱动力在良好侧向排烃条件的保障下,成为油气长距离侧向运移的控制因素之一。

4.1.2 潜山物性 据钻井资料统计,JZ20-2、JZ25-1S 和 SZ36-1 的潜山油气藏的平均孔隙度分别为 14.34%、15.25% 和 12.72%,物性良好。在孔店组沙三段沉积时期,辽西凸起及凹陷斜坡带的基岩长期暴露地表,JZ20-2 和 SZ36-1 潜山储层长期暴露地表直到沙一二段沉积时期,JZ25-1S 潜山构造地处断

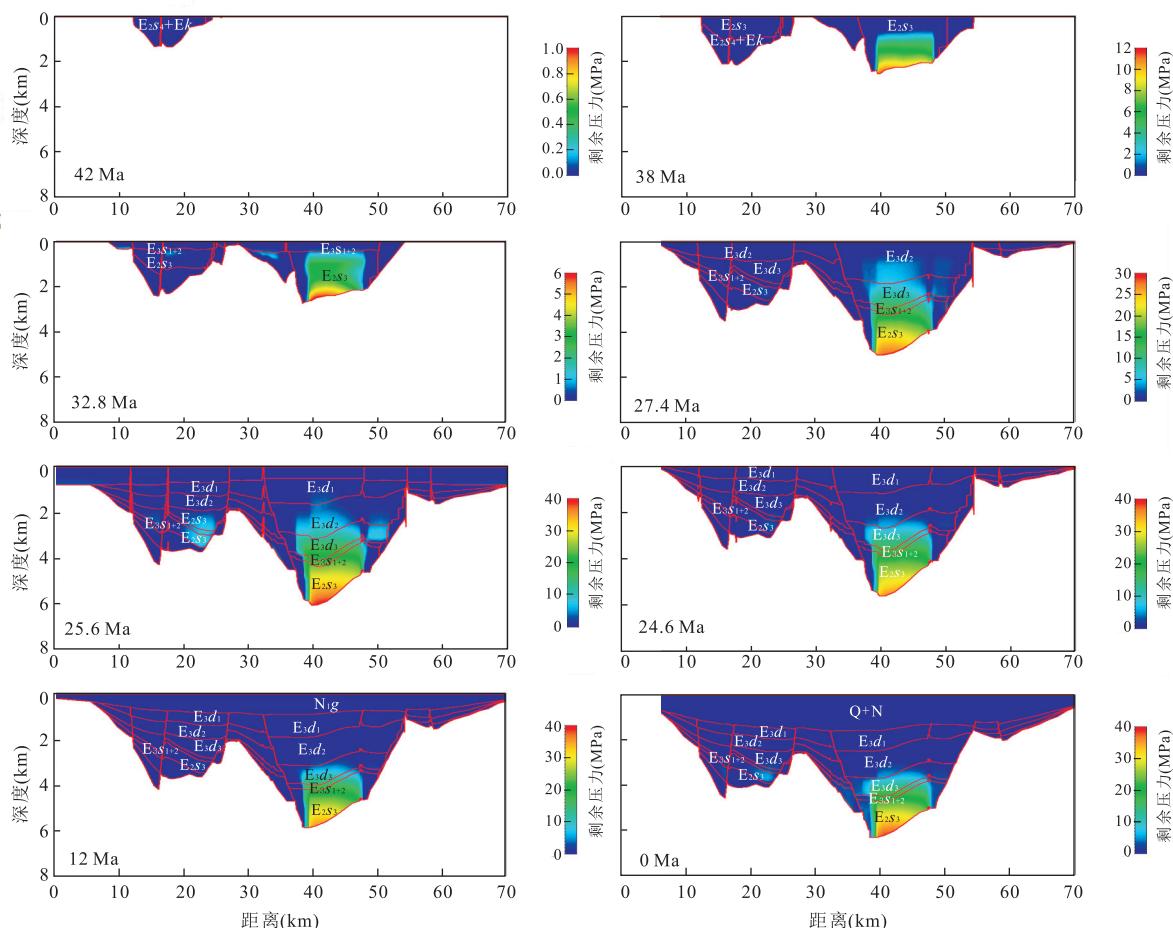


图 9 辽东湾 LZ267 测线剩余压力演化史

Fig.9 The evolving history of excess pressure for line LZ267 in Liaodong bay

裂转换带,构造应力的释放产生众多构造裂缝(周心怀等,2008),形成了孔渗性较好、横向稳定连续分布的不整合输导层,成为高效输导油气的通道(周兴怀,2009).另外,储层物性的好坏直接决定能否形成工业油气聚集,油气长距离运移,充注动力减弱,优先进入并聚集在孔渗性较好的潜山储层中.因此,潜山物性同样成为该类油气藏形成的主要控制因素.

4.2 单向单一古储型

断层作为单向单一古储型油气藏的主要输导通道,对此类油气藏的成藏具有绝对的控制作用,另外烃源岩成熟度决定了油气藏的性质.

4.2.1 断层 首先,此类油气藏主要分布在洼陷带或陡坡带大型断裂带附近,断裂断至基底有效地沟通了源岩和储层,且断裂在古近纪时期活动强烈,具有垂向开启性,对油气起输导作用;另外,断裂的发育控制了此类油气藏圈闭的形成(所有圈闭均为与断层相关的圈闭,如断块、断鼻、断背斜),油气在烃源岩内部生成后沿断层垂向运移至合适的圈闭聚集成藏.其次,断层的横向连通性决定了油气成藏部位,如 LD4-2 油田,圈闭与源岩同处于上盘,东侧主干断裂横向连通性差,形成遮挡条件,油气沿断裂垂向运移后不能横向穿过断层,在断层上盘聚集成藏;而 JZ25-1 油田,圈闭与源岩处于异盘,断裂的横向连通性较好,油气垂向运移至沙河街组后穿过断层在下降盘圈闭中聚集成藏.最后,走滑断层不同部位的不同作用决定了油气藏的保存(范军侠等,2006),增压弯部位有利于油气聚集(如 JX1-1 油田位于增压弯部位,油气得以保存聚集成藏),而释拉张部位不利于油气的聚集于保存(如 JZ31-2 构造位于释拉张部位,未发现油藏).

4.2.2 烃源岩成熟度 此类油气藏在辽东湾断陷北区、中区和南区范围内均有分布,但不同区域油气藏的流体性质存在差异,主要受控于烃源岩的成熟度.北区烃源岩的成熟度高,达到高成熟的生气阶段,现已发现的天然气也主要分布在北区;辽中凹陷北洼东三段烃源岩也达到了生烃门限,在北区发现了浅源油气藏(如 JZ21-1 和 JZ16-4 油田).

4.3 复合古储型

4.3.1 流体动力 复合型输导体系组成复杂,输导路径长,其中油气的运移同样需要充足的驱动力.该类油气藏主要位于凹陷斜坡带或凸起上,距离生烃灶较远,油气成藏期洼陷内部发育的强烈超压为油气沿着这种复杂输导体系的运移提供了流体动力条件.

4.3.2 输导通道 输导要素是否合理配置以及要素输导性能的好坏决定了油气运移通道的畅通与否.SZ36-1 东二下亚段油藏和 JZ20-2 东二上亚段油藏的输导体系是由大型油源断层与三角洲砂体有利配置形成的.同样,断层和砂体的合理配置形成了 LD16-1 和 JZ25-1S(2 井区)沙二段油气藏的输导体系.该类油气藏输导体系的输导性能较好:不整合面孔渗性好;断层大多为大型主干断裂,输导性能好;砂体主要为东二段三角洲前缘亚相砂体,物性良好,孔隙度大部分介于 19%~37% 之间,平均 26.75%,良好的输导性能使之成为油气运移的高效通道.正是因为这些输导体系的存在、合理的空间配置和良好的输导性能,油气才可以运移至烃源灶以外甚至较远的地层中聚集成藏.

4.4 单向深源复合新储型

4.4.1 盖层 辽东湾南部地区古近系主要发育三角洲、扇三角洲、近岸水下扇等砂体,泥岩不甚发育,因此油气在古近系地层不能得到很好的封盖,而新近系却发育大段质纯巨厚泥岩,形成极好的区域性盖层,能有效地封盖下部油气.

4.4.2 断层活动 新近系断裂的活动性成为油气能否顺利运移至浅部储层的关键,辽东湾南部地区通源断裂新近系沉积时期活动强度中等,一般介于 10~25 m/Ma(邹华耀等,2010),个别断层活动速率 >25 m/Ma,如 LD5-2 构造附近,最大活动速率可达 60 m/Ma;而中部和北部地区新近系断层活动性弱,活动速率小,有些地区断裂在新近已经停止活动,垂向输导能力弱,油气无法沿断裂垂向运移至新近系地层.

新近系断裂活动强度和盖层的发育情况共同决定了辽东湾断陷南部地区浅层油气藏的形成.

4.5 自生自储自盖型

该类油气藏位于烃源岩内部,成藏主控因素是储层物性.烃源岩内部具有统一的温压系统,即流体动力条件基本相同,在这种情况下,油气优先充注孔渗性相对较好的砂体.所以,砂体储层物性好,成藏可能性大.

5 认识及结论

(1)辽东湾断陷具有优越的油气成藏条件,发育沙三段、沙一段和东三段 3 套烃源岩系和上、中、下 3 套储盖组合及多类型输导介质,已发现的油气藏类型以构造型为主;油气纵向分布层系多,以东二

段、潜山和沙一二段最为富集,横向主要分布在断裂带附近。

(2) 辽东湾断陷的油气成藏模式可以划分为单向单源单一潜山型、单向单一古储型、复合古储型、单向深源复合新储型和自生自储自盖型 5 大类 15 个亚类。潜山型油气藏主要分布在辽西低凸起北段和中段,成藏主控因素为流体动力和潜山物性;单一古储型油气藏主要分布在辽西、辽中凹陷的洼陷带和陡坡带,成藏主要受断层和烃源岩成熟度的控制;复合古储型油气藏主要分布在辽西低凸起中北段和辽中凹陷南洼缓坡带,成藏主控因素有流体动力和输导通道;新储型油气藏主要分布在辽东湾南部大断层附近,油气富集受盖层和新近系断裂活动的共同控制;自生自储自盖型油气藏主要分布在生烃洼陷烃源岩内部,主要受储层物性的影响。

References

- Deng, J. H., Wu, Q., Zhou, X. H., et al., 2008. Reservoir-Forming Periods of JZ25 Hydrocarbon Reservoir in Liaodong Bay, Bohai Sea. *Natural Gas Geoscience*, 19(4): 537—540 (in Chinese with English abstract).
- Dong, C.M., 1995. Biological Marker of Crude Oil and Source Rock in Liaodong Gulf. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)* 19(2): 12—18 (in Chinese with English abstract).
- Fan, J.X., Li, H.W., Zhu, X.M., et al., 2006. Characteristics of Strike-Slip Structure and Rules of Hydrocarbon Accumulation in Northern Liaodong Bay. *Journal of Paleogeography*, 8(3): 415—418 (in Chinese with English abstract).
- Gao, X. Z., Zhang, H. F., Zhang, W. X., 1991. Organic Geochemistry of No. 1 Well in a Depression of Liaodong bay. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 15(5): 11—19 (in Chinese with English abstract).
- He, B. J., 1992. Prospects for Exploring Natural Gas in Liaodong Bay. *Natural Gas Industry*, 12(2): 7—12 (in Chinese with English abstract).
- Hu, C.Y., 1982. Source Bed Controls Hydrocarbon Habitat in Continental Basins, East China. *Acta Petrolei Sinica*, (2): 9—13 (in Chinese with English abstract).
- Hu, S.B., Zhang, R.Y., Luo, Y.H., et al., 2000. Basin Thermal History and Petroleum Potential in Bohai Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(5): 306—314 (in Chinese with English abstract).
- Jia, Q.S., Yi, W., Chen, F.J., et al., 2007. The Role of Che-Mo Palaeohigh in Controlling Hydrocarbon Accumulation in Central Juggar Basin. *Oil & Gas Geology*, 28(2): 257—265 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, S., Cai, D.S., Zhu, G.H., et al., 2007. The Subtle Reservoir Forming Modeling in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(5): 506—511 (in Chinese with English abstract).
- Leng, J.G., Pang, X.Q., Yang, K.M., et al., 2011. Hydrocarbon Accumulation Model of Fault Block Trap—A Case Study of West Sag in Liaohe Basin. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 18(2): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y.C., Huang, Z.J., 2002. Geochemistry of Immature Oil in Bohai Sea Area. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 16(5): 322—327 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X. Q., Li, P. L., Zhang, S. W., et al., 2007. Control of Facies-Potential Coupling on Hydrocarbon Accumulation in Continental Faulted Basins and Its Basic Geological Models. *Oil & Gas Geology*, 28(5): 641—652 (in Chinese with English abstract).
- Teng, Y. B., Zhou, X. H., Jia, D. H., et al., 2007. Lithologic Trap Pool-Forming Conditions for Block JZ31-A in Liaodong Bay Area. *China Petroleum Exploration*, (5): 26—35 (in Chinese with English abstract).
- Tian, J. Q., Zou, H. Y., Zhou, X. H., et al., 2011. Biomarker Characteristics of Source Rocks and Oil-Source Correlation in Liaodong Bay. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 35(4): 53—58 (in Chinese with English abstract).
- Tian, L. X., Xu, C. G., Jiang, S. K., 2011. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Process of Jinzhou 25-1 Large-Scale Light Gas-Oil Field in Liaodong Bay. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 35(4): 47—52 (in Chinese with English abstract).
- Tong, X.G., Niu, J.Y., 1989. Effects of Regional Cap Formation on Oil and Gas Accumulation. *Petroleum Exploration and Development*, 16(4): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Wang, J., Zhou, X. H., 2008. Formation Conditions of the Lithologic Oil Trap in Block J27 in the Liaozhong Depression, Liaodong Bay, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 35(5): 523—527 (in Chinese with English abstract).
- Xu, T. W., Zeng, J. H., Wei, G., et al., 2008. The Character and Significance of Hydrocarbon Transferring System in Liaodong Bay. *Journal of Southwest Petroleum University*

- sity (Science & Technology Edition), 30(5): 69—72 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X.H., Liu, Z., Li, W.L., 2009a. Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Liaodong Bay Fault Depression. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhou, X.H., Niu, C.M., Teng, C.Y., 2009b. Relationship between Faulting and Hydrocarbon Pooling during the Neotectonic Movement around the Central Bohai Bay. *Oil & Gas Geology*, 30(4): 469—475 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X.H., Yu, Y.X., Wei, G., et al., 2008. Relationship between JZ25-1S Transfer Zone and Hydrocarbon Accumulation in Liaodongwan Offshore of Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 29(6): 837—840 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, F., Gao, X., Lü, Y.Z., 2009. Analysis on Reservoir Quality in Paleogene of Liaodong Bay. *Journal of Oil and Gas Technology (J.JPT)*, 31(2): 30—34 (in Chinese with English abstract).
- Zhuo, Q.G., Ning, F.X., Rong, N., 2005. Types of Passage Systems and Reservoir-Controlling Mechanisms in Rift Basins. *Geological Review*, 51(4): 416—422 (in Chinese with English abstract).
- Zong, Y., Xu, C.G., Jiang, X., et al., 2009. The Influence of Differential Activities of Faults on Petroleum Accumulation in Liaodongwan Area. *Journal of Oil and Gas Technology (J.JPT)*, 31(5): 12—17 (in Chinese with English abstract).
- Zou, H.Y., Zhou, X.H., Bao, X.H., et al., 2010. Controlling Factors and Models for Hydrocarbon Enrichment/Depletion in Paleogene and Neogene, Bohai Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 31(6): 885—893 (in Chinese with English abstract).
- 邓津辉,吴强,周心怀,等,2008.渤海辽东湾海域JZ25油气藏成藏期次研究.天然气地球科学,19(4):537—540.
- 董春梅,1995.辽东湾海域原油及生油岩的生物标志化合物特征.石油大学学报(自然科学版),19(2):12—18.
- 范军侠,李宏伟,朱筱敏,等,2006.辽东湾北部地区走滑构造特征与油气富集规律.古地理学报,8(3):415—418.
- 高先志,张厚福,张万选,1991.辽东湾某区块1号井有机地球化学研究.石油大学学报(自然科学版),15(5):11—19.
- 何炳骏,1992.辽东湾天然气勘探前景.天然气工业,12(2):7—12.
- 胡朝元,1982.生油区控制油气分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论.石油学报,2:9—13.
- 胡圣标,张容燕,罗毓晖,等,2000.渤海海域盆地热历史及油气资源潜力.中国海上油气(地质),14(5):306—314.
- 贾庆素,尹伟,陈发景,等,2007.准噶尔盆地中部车一莫古隆起控藏作用分析.石油与天然气地质,28(2):257—265.
- 蒋恕,蔡东升,朱光辉,等,2007.辽东湾盆地辽中凹陷隐蔽油气藏成藏模拟.石油实验地质,29(5):506—511.
- 冷济高,庞雄奇,杨克明,等,2011.断块圈闭控藏模式——以辽河盆地西部凹陷为例.油气地质与采收率,18(2):1—6.
- 李友川,黄正吉,2002.渤海海域低成熟油的地球化学特征.中国海上油气(地质),16(5):322—327.
- 庞雄奇,李丕龙,张善文,等,2007.陆相断陷盆地相—势耦合控藏作用及基本模式.石油与天然气地质,28(5):641—652.
- 滕玉波,周心怀,加东辉,等,2007.辽东湾锦州31-A区块岩性圈闭成藏条件分析.中国石油勘探,5(5):26—35.
- 田金强,邹华耀,周心怀,等,2011.辽东湾地区烃源岩生物标志物特征与油源对比.中国石油大学学报(自然科学版),35(4):53—58.
- 田立新,徐长贵,江尚昆,2011.辽东湾地区锦州JZ25-1大型轻质油气田成藏条件与成藏过程.中国石油大学学报(自然科学版),35(4):47—52.
- 童晓光,牛嘉玉,1989.区域盖层在油气聚集中的作用.石油勘探与开发,16(4):1—8.
- 王元君,王峻,周心怀,等,2008.辽东湾辽中凹陷J27区东营组岩性圈闭成藏条件研究.成都理工大学学报(自然科学版),35(5):523—527.
- 徐田武,曾溅辉,魏刚,等,2008.辽东湾地区油气运移导体系特征及意义.西南石油大学学报(自然科学版),30(5):69—72.
- 周心怀,刘震,李滩莲,2009a.辽东湾断陷油气成藏机理.北京:石油工业出版社.
- 周心怀,牛成民,滕长宇,2009b.环渤海地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系.石油与天然气地质,30(4):469—475.
- 周心怀,余一欣,魏刚,等,2008.渤海辽东湾海域JZ25-1S转换带与油气成藏的关系.石油学报,29(6):837—840.
- 朱峰,高霞,吕玉珍,2009.辽东湾地区古近系储层质量分析.石油天然气学报(江汉石油学院学报),31(2):30—34.
- 卓勤功,宁方兴,荣娜,2005.断陷盆地导体系类型及控藏机制.地质评论,51(4):416—422.
- 宗奕,徐长贵,姜雪,等,2009.辽东湾地区主干断裂活动差异性及对油气成藏的控制.石油天然气学报(江汉石油学院学报),31(5):12—17.
- 邹华耀,周心怀,鲍晓欢,等,2010.渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式.石油学报,31(6):885—893.

附中文参考文献

- 邓津辉,吴强,周心怀,等,2008.渤海辽东湾海域JZ25油气藏成藏期次研究.天然气地球科学,19(4):537—540.
- 董春梅,1995.辽东湾海域原油及生油岩的生物标志化合物特征.石油大学学报(自然科学版),19(2):12—18.
- 范军侠,李宏伟,朱筱敏,等,2006.辽东湾北部地区走滑构造特征与油气富集规律.古地理学报,8(3):415—418.
- 高先志,张厚福,张万选,1991.辽东湾某区块1号井有机地球化学研究.石油大学学报(自然科学版),15(5):11—19.
- 何炳骏,1992.辽东湾天然气勘探前景.天然气工业,12(2):7—12.
- 胡朝元,1982.生油区控制油气分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论.石油学报,2:9—13.