

# 辽东湾坳陷辽西凹陷北部和中部洼陷油气成藏条件

杨宝林<sup>1</sup>, 叶加仁<sup>1</sup>, 刘一茗<sup>1</sup>, 单超<sup>1</sup>, 薛海琴<sup>2</sup>

(1.中国地质大学 a.构造与油气资源教育部重点实验室;b.资源学院,武汉 430074;2.中国地质大学 江城学院,武汉 430200)

**摘要:**对辽西凹陷北部洼陷与中部洼陷的成藏基本条件进行分析对比认为,北部洼陷烃源岩厚度大、有机质丰度高、成熟度高,储集层多为高孔—特高孔、中—高渗砂岩,泥岩盖层单层厚度大、超压广泛发育,圈闭的闭合幅度和面积大,运移动力充足,以断层垂向输导为主,晚期断层不发育,保存条件好;中部洼陷烃源岩厚度相对较小,有机质丰度中等,成熟度较低,储集层以中孔低渗砂岩为主,泥岩盖层单层厚度相对较小、超压局部发育,圈闭的闭合幅度和闭合面积相对较小,运移动力相对较弱,输导体系复杂,晚期断层发育,对先存油气藏具一定破坏作用。研究表明,北部洼陷与中部洼陷均具备油气成藏的基本条件,但北部洼陷的成藏条件优于中部洼陷,是辽西凹陷油气勘探的有利区域。

**关键词:**渤海湾盆地;辽西凹陷;油气成藏;油气运移;断裂

中图分类号:TE112.41

文献标识码:A

## Hydrocarbon Accumulation Conditions of North Sub-Sag and Central Sub-Sag in Liaoxi Sag, Liaodong Bay Depression

YANG Baolin<sup>1</sup>, YE Jiaren<sup>1</sup>, LIU Yiming<sup>1</sup>, SHAN Chao<sup>1</sup>, XUE Haiqin<sup>2</sup>

(1.China University of Geosciences, a. MOE Key Laboratory of Structure and Hydrocarbon Resources, b. School of Resource, Wuhan, Hubei 430074, China; 2.Jiangcheng College, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430200, China)

**Abstract:** The hydrocarbon accumulation conditions of north sub-sag and central sub-sag in Liaoxi sag of Liaodong Bay depression was correlated and analyzed. It is recognized that the north sub-sag is characterized by large thickness of source rocks, high organic matter abundance, high maturity; the reservoirs are mostly sandstone with high-super high porosity, middle-high permeability, the mud cap rock has large single layer thickness and the overpressure is widely developed, the trap closure amplitude and area are large, the migration force is sufficient, the fluid is mainly transported vertically along the faults that are undeveloped in the late stage of tectonic movement, and the oil conservation condition is good. The central sub-sag is characterized by relatively small thickness of source rocks, medium organic matter abundance, low maturity; the reservoirs are dominated by sandstone with middle porosity and low permeability, the mud cap rock has small single layer thickness, the overpressure is locally developed, the trap closure amplitude and area are relatively small, the migration force is relatively weak, the transport system is complex, the fault in the late stage of tectonic movement is developed, which has a certain of damages to previous existing oil-gas reservoirs. The studied result indicates that the north and central sub-sags do have basic conditions for hydrocarbon accumulation, but the north sub-sag is better than the central sub-sag in reservoir-forming condition, hence it is a favorable area for petroleum exploration in Liaoxi sag,

**Key Words:** Bohai Bay basin; Liaoxi sag; hydrocarbon accumulation; petroleum migration; fault

辽西凹陷位于渤海湾盆地辽东湾坳陷西部,呈北东—南西走向,面积约3 500 km<sup>2</sup>,东侧依次为辽西低凸起、辽中凹陷、辽东凸起及辽东凹陷,辽西凹陷和辽中凹陷为辽东湾的2个主力生烃凹陷<sup>[1]</sup>。郯庐断裂带营潍段经过辽中凹陷,其西支发育的辽西1号、辽西2号和辽西3号3条大断裂将辽西凹陷和辽中凹陷分隔开来,形成相对独立的2个生烃凹陷。辽西凹陷可进一步分为北部洼陷、中部洼陷和南部洼陷(简称北洼、中洼和南洼)3个次级构造单元(图1)。目前辽西凹陷的油气勘探主要集中在北洼和中洼,但二者在勘探成效方面存在较大的差异:北洼已发现1个油气田、5个含油气构造;中洼目前尚未发现具有商业价

值的油气田,只发现了2个含油气构造。前人对辽西凹陷的油气地质条件和特征作了比较多的研究:文献[2-3]利用地震地层学的方法对辽西凹陷古近系储集层进行了研究,对北洼古近系异常地层压力进行了分析;文献[4]研究了辽西凹陷中南部古近系的构造格架、层序地层格架以及古地理;文献[5]证实了辽西凹陷中段走滑构造的存在及其与油气运聚的关系;文献[6]采用稀疏脉冲法,对辽西凹陷中洼SZ30-3构造进行了储集层反演预测;文献[7]基于地震及单井资料,评价了辽西凹陷沙河街组的烃源岩发育状况。但对于同处辽西凹陷不同次级构造单元之间油气聚集的差异性对比却鲜有报道。本文分析了北洼与中洼的

收稿日期:2014-02-15

修订日期:2014-11-03

项目基金:国家科技重大专项(2011ZX05023-001-001)

作者简介:杨宝林(1986-),男,江西赣州人,博士,油气勘探,(Tel)13871535255(E-mail)yangbaolin.123@163.com.

成藏条件,以及造成两洼之间油气聚集差异性的主要因素,以期对该区的油气勘探决策提供参考依据。

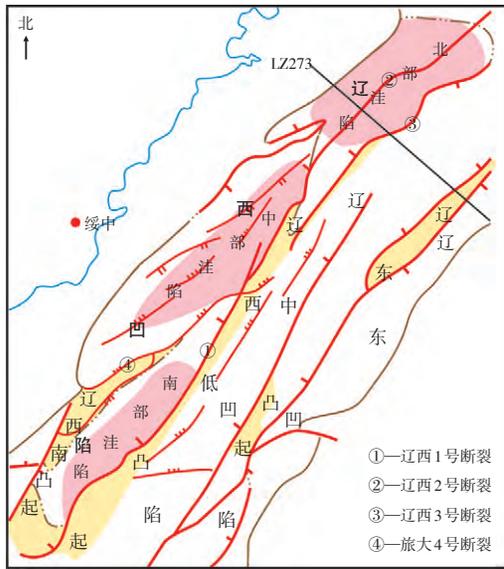


图1 辽东湾拗陷构造纲要

### 1 烃源岩条件

辽西凹陷北洼和中洼均发育渐新统东营组东三段、始新统沙河街组沙一段和沙三段3套烃源岩,其中沙三段为主力烃源岩<sup>[1]</sup>。

(1) 有机质丰度 据2 185个样品的分析数据统计(表1),北洼与中洼东三段和沙一段烃源岩的有机质丰度相近,东三段烃源岩均达中等—好级别,沙一段为好—极好的烃源岩,但主力烃源层沙三段的有机质丰度却差别较大,北洼明显高于中洼。北洼沙三段达极好级别,中洼沙三段为中等—好的烃源岩。

表1 辽西凹陷北洼和中洼烃源岩地球化学参数统计

地层	有机碳含量 (%)		生烃潜量 (mg/g)		氯仿沥青A含量 (%)		总烃含量 (mg/kg)	
	北洼	中洼	北洼	中洼	北洼	中洼	北洼	中洼
东三段	1.58	1.62	5.86	6.04	0.183 0	0.084 4	889	331
沙一段	1.94	2.17	8.81	10.83	0.315 9	0.199 1	1 961	672
沙三段	6.45	2.97	34.41	11.17	1.606 1	0.355 5	9 149	1 835

辽西凹陷有机质丰度主要受控于构造演化、沉积环境和离物源区远近等因素。沙三段沉积时期,辽西凹陷处于断陷作用阶段,断裂活动强烈并分割性强,形成了北、中、南3个洼陷,其中北洼以半深湖—深湖沉积为主,且离物源区较远,低等水生生物发育,导致其有机质丰度高;而中洼以滨浅湖沉积为主,且离缓中水系物源区较近,不利于水生生物繁殖,因而有机质丰度较低。至沙一段和东三段沉积时期,凹陷进入断拗转化阶段,断裂活动性减弱,北洼和中洼已基本联为一体,但北洼沙河街组烃源岩的厚度和面积均明显大于中洼(表2)。

表2 辽西凹陷北洼和中洼沙河街组烃源岩对比

洼陷	洼陷面积 (km <sup>2</sup> )	烃源岩埋深 (m)	烃源岩厚度 (m)	烃源岩面积 (km <sup>2</sup> )
北洼	1 288	1 731~3 521	970	890
中洼	1 209	1 574~3 100	750	466

(2) 有机质类型 根据最大热解温度与氢指数关系确定的有机质类型(图2),北洼烃源岩的有机质类型明显优于中洼。北洼沙河街组烃源岩的有机质类型以I型和II型为主(图2a);而中洼主要为II型和III型(图2b)。

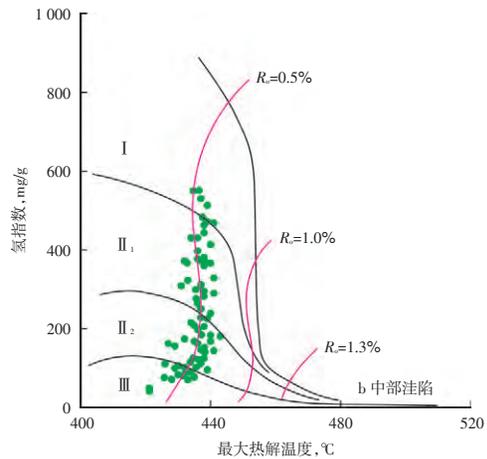
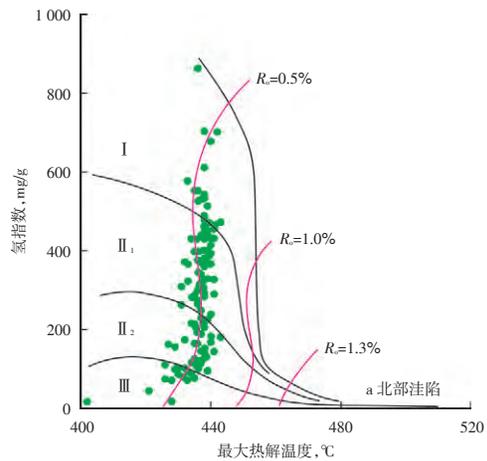


图2 辽西凹陷北洼和中洼有机质类型

(3) 有机质成熟度 根据镜质体反射率(Ro)与埋藏深度之间关系确定出的辽西凹陷北洼与中洼烃源岩生烃门限深度(Ro为0.5%)大致相同,均为2 500 m(图3)。在此基础上,统计对比了北洼和中洼3套烃源岩的镜质体反射率(表3)。

从表3中可看出,北洼各烃源层尤其是沙三段主力烃源岩层的有效烃源岩(Ro>0.5%)所占比例、镜质体反射率平均值都比中洼的要大。

综上所述,北洼烃源岩具有厚度大、有机质丰度高、成熟度高的特点;而中洼烃源岩的厚度相对较小,有机质丰度中等,成熟度较低。

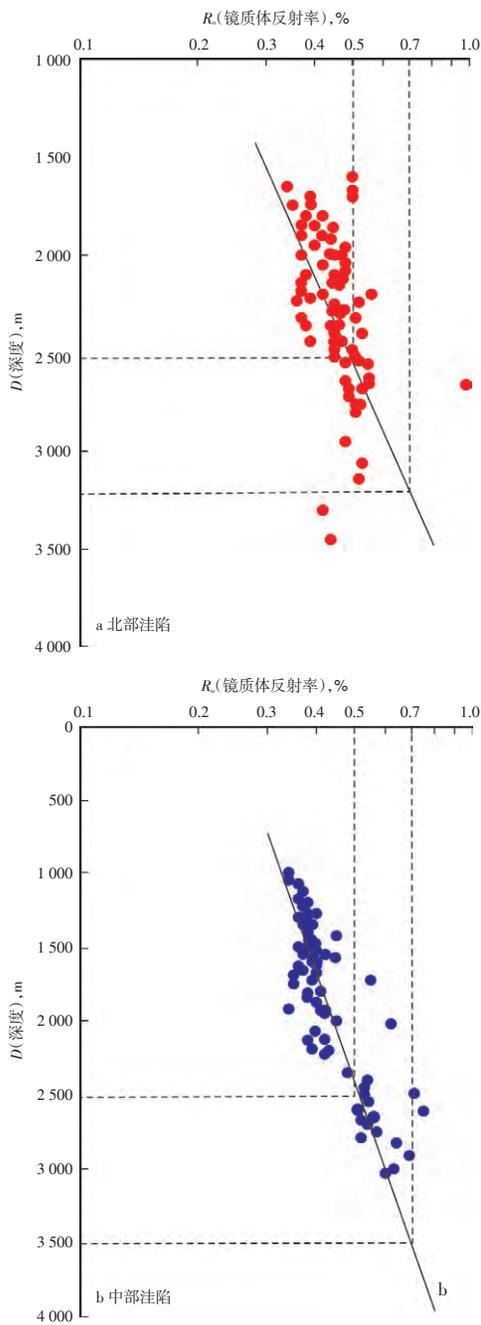


图3 辽西凹陷北洼与中洼烃源岩镜质体反射率

表3 辽西凹陷北洼与中洼有机质成熟度对比 %

层位	有效烃源岩所占比例		镜质体反射率	
	北洼	中洼	北洼	中洼
东三段	32.00	20.69	0.40~0.56(0.47)	0.35~0.75(0.44)
沙一段	50.00	14.29	0.37~0.55(0.47)	0.38~0.60(0.44)
沙三段	60.03	12.50	0.36~1.20(0.76)	0.42~0.64(0.53)

注:0.40~0.56(0.47)为范围值(平均值)

## 2 储盖条件

(1) 储集层 北洼和中洼不同层位的储集层成因类型既相似,也有差别。北洼沙河街组储集层主要为扇三角洲前缘相砂体,中洼沙三段也以扇三角洲前缘

相砂体储集层为主,但沙一段和沙二段主要为辫状河三角洲相砂岩储集层;北洼和中洼东营组储集层都以三角洲前缘相砂体为主,但两个洼陷的东二段储集层在沉积微相和平面分布范围上稍有差异,其中北洼既发育河口坝亚相砂体也发育水下分流河道亚相砂体,且砂体在整个洼陷的平面展布范围大,约占整个洼陷的80%,而中洼主要发育水下分流河道亚相砂体,其展布范围只占整个洼陷的30%~40%。

在储集层物性方面,由于成岩作用的差别<sup>[1,8]</sup>,北洼和中洼也表现出一定的差异性:北洼储集层孔隙度多在20%以上,渗透率主要分布在50 mD以上,为高孔—特高孔、中—高渗储集层;中洼储集层孔隙度主要分布在12%~20%,渗透率多小于10 mD,以中孔低渗储集层为主。

(2) 盖层 辽西凹陷古近系发育东二下亚段—东三段和沙三段2套区域性泥岩盖层,其中东二下亚段—东三段区域性盖层在2个洼陷都分布极广,而且大部分都是厚度巨大的纯泥岩,不含任何碎屑颗粒,为优质区域性盖层。在盖层单层泥岩厚度上,北洼一般为几十米到几百米,最大达671 m,平均盖地比超过80%,而中洼多为几米到几十米,最大515 m,平均盖地比大于60%。在盖层超压方面,北洼和中洼稍有区别,其中北洼发育深浅2套幅度大、分布广的超压层,而中洼只发育浅层超压层。

## 3 圈闭条件

辽西凹陷已发现的圈闭类型比较单一,以断块、断鼻、断背斜、披覆背斜等构造圈闭为主,单纯的岩性圈闭较少。文献[1]指出,辽西凹陷的构造圈闭多形成于沙河街组、东营组沉积时期,多为同沉积构造圈闭。笔者采用盆地模拟方法对辽西凹陷的生排烃史进行了模拟分析,结果表明,北洼沙三段烃源岩在东营组沉积时期开始大量生烃,中洼仅有沙三下亚段小部分烃源岩在东一段沉积末期进入生排烃阶段,所以辽西凹陷的圈闭形成期早于烃源岩主生排烃期,为有效圈闭。对比北洼和中洼发育的主要构造圈闭要素(表4),北洼圈闭的闭合面积和闭合幅度总体上要比

表4 辽西凹陷北洼与中洼主要构造圈闭基本要素

洼陷	主要构造	圈闭类型	层位	闭合面积 (km <sup>2</sup> )	闭合幅度 (m)	高点埋深 (m)
北洼	JZ9-2	断块	东二段	12.5	100	1 949
	JZ9-3	断鼻	东二段	46.0	350	1 950
	JZ9-3E	断背斜	东二段	4.3	90	1 570
	JZ14-2	披覆半背斜	沙二段	7.2	340	2 410
	JZ20-1	断背斜	沙二段	8.7	110	2 830
中洼	JZ19-2	半背斜	沙二段	4.7	100	1 950
	SZ29-4	断背斜	东一段	7.4	40	790
	SZ30-3	断块	沙一段	9.2	300	1 900

中注的大,更有利于形成较大规模的油气藏。

### 4 运移条件

(1) 运移动力 据声波测井资料分析(图4),北注内部泥岩普遍发育深、浅2套欠压实—超压体系,分别对应于沙三段和东二下亚段—东三段2套烃源岩系,且深部超压体系的强度和分布范围都要大于浅部超压体系,这为油气的运移提供了强大的驱动力;而中注只发育浅部一套欠压实—超压体系,对应于东二下亚段—东三段烃源岩系,且其超压幅度和展布范围均较北注的小,只在靠近辽西低凸起的斜坡带局部发育超压,缓坡带和洼陷中央超压发育不甚明显。

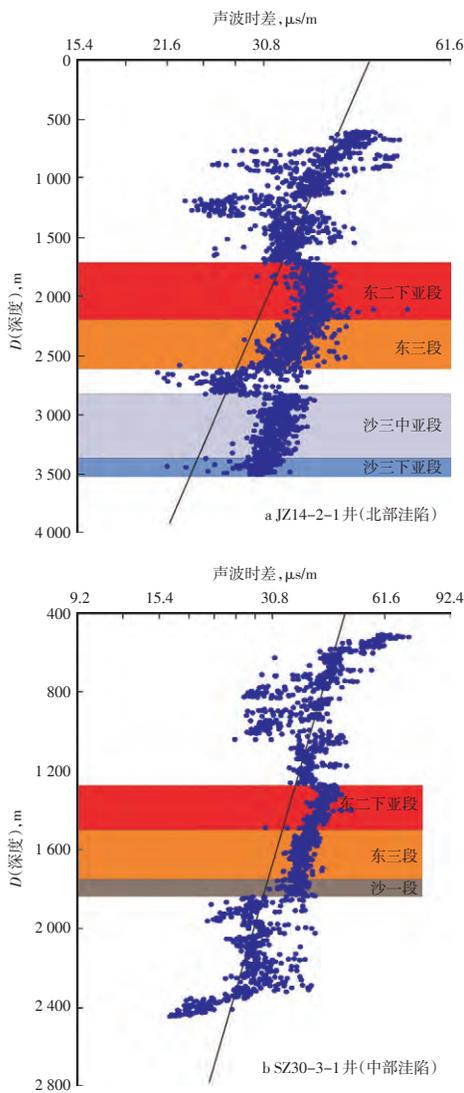


图4 辽西凹陷北注和中注泥岩欠压实—超压纵向发育

结合烃源岩成熟度演化史和剩余压力演化史的盆地数值模拟分析结果,发现辽西凹陷北注和中注的剩余压力演化既存在相似的规律,也存在着较大差异,二者的剩余压力演化都经历了3期的增压—泄压旋回,但是中注剩余压力值却比北注小得多。以北注

LZ273 测线为例,沙三段沉积时期,构造运动强烈,地层沉降速率大,产生强烈的欠压实作用,辽西2号断裂和辽西3号断裂之间的洼陷深处出现大面积超压,辽西2号断裂下降盘深处也局部发育超压,但是强度和幅度比洼陷最深处都要小。沙一段和沙二段沉积时期,裂陷作用减弱,进入稳定的热沉降阶段,孔隙流体渗出,超压强度逐渐减小;到东三段沉积时期,辽西凹陷进入裂陷阶段的再陷期,构造运动再一次加强,又出现了较强的超压,此时东三段内部也由于欠压实作用,产生了强度较小的超压;东二段沉积时期,随着构造运动的减弱,超压强度本应有所减小,但此时辽西凹陷北注沙三段烃源岩大部分已经成熟,且有一部分达到中成熟阶段,生烃作用强烈,导致了超压的加大,随着埋深的增加,烃源岩越来越成熟,生烃作用也在不断增强,所以超压也在一直增大,直到东一段发生构造抬升之前超压强度达到最大;之后由于东一段开始抬升并遭受剥蚀,部分压力也得到释放;明化镇组沉积时期开始,由于烃源岩达到生烃高峰,生烃作用急剧增强,压力又进一步增大;第四系平原组沉积开始,烃源岩生烃作用减弱,压力又降低。综上,辽西凹陷的剩余压力演化经历了增压(沙三段沉积期)—泄压(沙一段和沙二段沉积期)—增压(东三段—东一段沉积期)—泄压(东一段沉积末期)—增压(明化镇组沉积期)—泄压(平原组沉积期)3期的旋回。

(2) 运移通道 辽西凹陷北注的油气运移通道较为单一,以断层为主要运移通道,油气在烃源岩内生成后,在超压的驱动下排出,沿断层垂向运移至低势能的构造高部位,在合适的圈闭中聚集成藏;而中注的输导体系比较复杂,运移通道有断层—砂体、断层—不整合、断层—不整合—砂体等多种类型。

由图1可看出,辽西凹陷北注发育2条大的长期活动断裂,分别是辽西2号和辽西3号断裂,晚期断裂极少发育。其中,辽西3号断裂为辽西凹陷北注的控注断裂,辽西2号断裂穿过辽西凹陷北注中央,使得北注由一个半地堑变成两个相连的半地堑,辽西2号断裂附近形成构造高部位,成为油气运移有利指向区,油气主要沿断裂进行垂向运移。中注发育有长期活动断裂,而且沙河街组沉积期、东营组沉积期和新近纪断裂都比较发育。辽西1号和旅大4号断裂为辽西凹陷中注控注断裂,其油气一部分沿源控断裂垂向运移至上部储集层砂体,一部分沿不整合侧向运移至辽西1号断裂后,又沿此断裂垂向运移至辽西低凸起。

辽西凹陷构造演化经历了地壳张拱阶段、裂陷阶段、拗陷阶段和构造再活动阶段,发生了幕式变化的构造运动,断裂活动也相应具有多期性,沙四段—东

一段沉积期,控洼断裂活动整体较为强烈,控制着辽西凹陷烃源岩的发育和分布,东一段沉积末期至明化镇组沉积期,断裂活动相对较弱,烃源岩开始大量生排烃,此时控洼断裂作为油源断裂,沟通了烃源岩和储集层,为油气的运移提供了通道,控制着辽西凹陷油气的成藏。明化镇组沉积之后,大部分油气都已聚集成藏,此时控洼断裂处于构造再活动阶段,控制着油气的再分配。生排烃期控洼断裂的侧向封闭性控制着辽西凹陷北洼和中洼的油气运移方向,北洼控洼断裂在油气生排烃期侧向主要起封闭作用,因此北洼生成的油气主要在洼内聚集成藏;而中洼控洼断裂在油气生排烃期侧向多起输导作用,大部分油气先进行侧向运移然后沿断裂垂向运移至其东侧的辽西低凸起聚集成藏。油源对比结果也证实,辽西凹陷中洼的油气对辽西低凸起的油气成藏作出了贡献<sup>[9-10]</sup>。

## 5 保存条件

辽西凹陷北洼由于储盖条件优越,泥岩单层厚度和累计厚度都比较大,能够对油气形成有效的封盖,加之晚期断裂不甚发育,对已聚集成藏的油田或含油气构造基本没有破坏作用;而辽西凹陷中洼虽也具备良好的储盖条件,但是泥岩单层厚度和累计厚度整体比北洼都要小,且辽西凹陷中洼断层密度大于北洼,晚期断裂较为发育,这就可能导致本已在中洼圈闭中聚集成藏的油气,遭到破坏而散失,例如SZ29-4构造和SZ30-3构造的失利就有可能是因为断层切割破坏了盖层的有效封闭,导致油气往低凸起运移、逸散。

## 6 结论

(1) 辽西凹陷北洼烃源岩具有厚度大、有机质丰度高、成熟度高的特点;而中洼烃源岩的厚度相对较小、有机质丰度中等、成熟度较低。

(2) 北洼与中洼的储集层、盖层和圈闭都比较发育,为油气聚集创造了良好条件,但北洼的储集层物性、盖层封闭能力以及圈闭幅度与面积均要好于中洼。

(3) 北洼的油气运移条件好于中洼,北洼内部泥岩普遍发育深、浅2套欠压实—超压体系,运移通道以断层最为重要,以垂向运移为主;而中洼只发育浅部1套幅度和展布范围均相对较小的欠压实—超压体系,输导体系复杂。

(4) 北洼晚期断裂不发育,而中洼晚期断裂发育,这对先存油气藏具有一定的破坏作用。

### 参考文献:

[1] 周心怀,刘震,李潍莲.辽东湾断陷油气成藏机理[M].北京:石油工业出版社,2009.  
Zhou Xinhuai, Liu Zhen, Li Weilian. Hydrocarbon accumulation

mechanism of Liaodong Bay depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.

- [2] 刘震,张万选,张厚福.辽西凹陷北洼下第三系储层地震学研究[J].石油勘探与开发,1992,19(5):94-100.  
Liu Zhen, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu. A research on reservoir seismic stratigraphy in the north sag of Liaoxi sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 1992, 19(5): 94-100.
- [3] 刘震,张万选,张厚福,等.辽西凹陷北洼下第三系异常地层压力分析[J].石油学报,1993,14(1):14-23.  
Liu Zhen, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu, et al. An analysis of abnormal formation pressure of Paleogene in the north sub-sag of Liaoxi sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 1993, 14(1): 14-23.
- [4] 徐长贵,许效松,丘东洲,等.辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析[J].古地理学报,2005,7(4):449-459.  
Xu Changgui, Xu Xiaosong, Qiu Dongzhou, et al. Structural and sequence stratigraphic frameworks and palaeogeography of the Paleogene in central-southern Liaoxi sag, Liaodong Bay area [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(4): 449-459.
- [5] 田金强,邹华耀,姜雪,等.辽西凹陷中段走滑构造与油气运聚[C]//第五届油气成藏机理与油气资源评价国际学术研讨会论文集,北京:石油工业出版社,2011:405-411.  
Tian Jinqiang, Zou Huayao, Jiang Xue, et al. The strike-slip structure and hydrocarbon accumulation in the central section of Liaoxi sag [C]//The 5th International Symposium of Hydrocarbon Accumulation and Petroleum Resources Assessment, Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 405-411.
- [6] 吴奎,王伟,邓君,等.稀疏脉冲反演在辽东湾绥中30-3构造沙二段储层预测中的应用[J].海洋地质前沿,2013,29(3):46-52.  
Wu Kui, Wang Wei, Deng Jun, et al. Application of sparse pulse inversion technique to reservoir prediction in the 2nd member of Shahejie formation of Suizhong 30-3 structure, Liaodong Gulf [J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(3): 46-52.
- [7] 梁建设,张功成,苗顺德,等.辽东湾辽西凹陷沙河街组烃源岩评价及油源研究[J].沉积学报,2012,30(4):739-745.  
Liang Jianshe, Zhang Gongcheng, Miao Shunde, et al. Evaluation of Shahejie source rock and oil source research in the Liaoxi sag, Liaodong Bay, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 739-745.
- [8] 朱峰,高霞,吕玉珍.辽东湾地区古近系储层质量分析[J].石油天然气学报,2009,31(2):30-34.  
Zhu Feng, Gao Xia, Lv Yuzhen. Analysis on reservoir quality in Paleogene of Liaodong Bay [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(2): 30-34.
- [9] 李潍莲,刘震,代春萌,等.辽东湾JZS油气田西侧边界断层输导性能分析[J].现代地质,2009,23(2):292-298.  
Li Weilian, Liu Zhen, Dai Chunmeng, et al. The carrying capability of western margin faults of JZS oilfield and their controls on hydrocarbon accumulation in Liaodong Bay [J]. Geoscience, 2009, 23(2): 292-298.
- [10] 杨兰君.辽西凹陷烃源岩地球化学特征及JZ25-1S地区油源对比[D].成都:成都理工大学,2010.  
Yang Lanjun. Geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in Liaoxi sag and correlation of oil source in area of JZ25-1S [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.