

渤海辽东带地质认识的突破与金县 1-1 大油田的发现

邓运华

(中国海洋石油总公司,北京 100010)

[摘要] 辽东带系指渤海辽中凹陷的东部陡坡带及辽东凸起,被辽中及辽东凹陷所夹持。辽东带油源条件好,东营组储—盖条件优越,断鼻、断块圈闭发育。但在 2002 年之前的 15 年内,国内外公司在辽东带进行了长期研究和勘探,钻了 12 口探井,没有发现商业油气田。经过对辽东带油气地质条件 3 年的深入研究,对每口失利井原因进行了再次分析,认识到该带发育东营组及沙河街组两套主力成藏组合,控制东营组成藏的主要因素是油气运移,而沙河街组能否成藏关键是储层。在此认识指导下选择研究方向,评价有利目标,经钻探发现了金县 1-1 大油田,储量达 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,充分显示了科研在油气勘探中的作用。

[关键词] 渤海辽东带;金县 1-1;地质认识;大油田

[中图分类号] TE12 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)10-0013-06

1 前言

辽东带位于辽东湾拗陷东部,呈北东走向,其南北长度约 184 km,东西宽为 21 ~ 28 km,面积约 3 700 km²。辽东带地质条件非常复杂,著名的郯—庐大断裂纵贯其间。早期拉张,后期剪切所产生的正断层及走滑断层交织^[1,2]。因抬升剥蚀产生的第三系内角度不整合明显,新生代火成岩侵入体普遍,这些地质事件给该区的油气勘探带来了挑战。从 20 世纪 80 年代开始至 2003 年,渤海石油公司及多家外国大公司进行了长达 15 年的勘探,钻了 12 口探井,除少数井见薄油层外,没有发现商业性油气田。2003—2005 年技术人员对该区进行了系统的深入分析,尤其是对 12 口井没有商业发现的原因及该区成藏的主控因素进行了重点研究,获得了全新的认识。在新认识指导下寻找有利目标进行钻探,一举发现了金县 1-1 大油田,其地质储量达 $1.5 \times$

10^8 m^3 ,产生了巨大的经济效益。

2 石油地质背景

辽东带属辽东湾拗陷的一部分,向北一直延伸至辽河油区,向南至渤中拗陷。辽东带包含辽中凹陷东部陡坡和辽东凸起带(见图 1),辽东凸起被分成南北两段,且不连续。凸起东部是辽东凹陷,辽东凹陷呈北东向窄长条形,面积小,新生界沉积岩薄,不具备生油能力。

辽中凹陷与辽东凸起的分界大断层为辽中断层,该断层即是郯—庐断裂的主支,它控制了凹陷、凸起的形成及演化,也控制了油气分布^[3,4]。始新世辽中断层强烈拉张,基底东降西抬,形成了辽中半地堑凹陷。半地堑中心沉积了沙四段—沙三段深湖—半深湖相暗色泥岩,是主力烃源岩;陡坡局部发育近岸水下扇和深湖浊积扇。始新世末(沙三上段),区域性抬升,湖水变浅,为河流相沉积,辽东凸

[收稿日期] 2011-08-15

[基金项目] 国家科技重大专项课题(2008ZX05023-001)

[作者简介] 邓运华(1963—),男,湖北黄冈市人,中国海洋石油总公司教授级高级工程师、高级地质师,长期从事国内外海上油气勘探研究和技术管理工作;

E-mail: dengyh@cnooc.com.cn

起南部抬升剧烈,沙四段—沙三段强烈剥蚀,见明显角度不整合面。渐新世辽中断层活动逐渐加强,从沙二段—沙一段—东三段,湖水也逐渐变深,从河流—滨浅湖—半深湖,沉积了河流相砂岩—浅湖相碳酸盐岩—半深湖相泥岩的下粗上细岩性组合,发育第二套生油岩。东二段—东一段为大型三角洲—湖相沉积,形成了良好的储盖组合。渐新世末是区域抬升,箕状凹陷发育结束。中—上新世为整体热沉降,辽东带为冲积扇—辫状河沉积,便砂砾岩厚度大,泥岩薄。上新世辽中大断裂受区域剪切应力作用控制,表现为水平走滑特征,断层平面上为羽状组合,剖面上为“树枝状”结构,反映后期的走滑运动强烈改造了先期的张性断层。

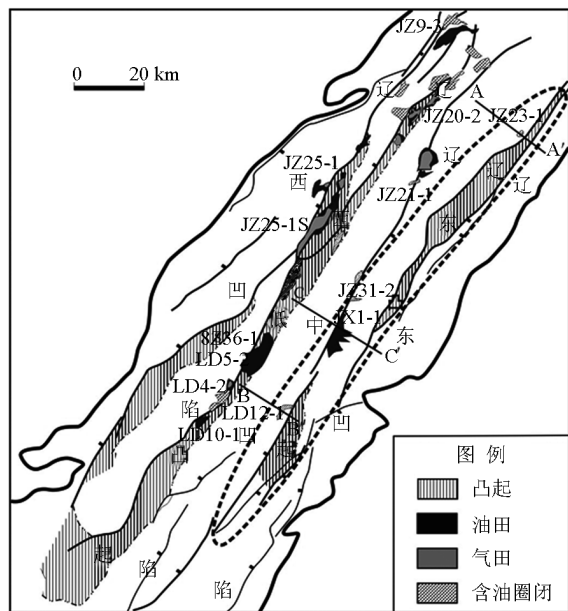


图1 辽东带区域位置图

Fig.1 Location of Liaodong zone in Bohai oil province

辽东带以断块、断鼻构造圈闭为主,储层主要是东营组三角洲,其次是沙河街组水下扇、浊积扇砂体。主力烃源岩为沙三段,其次是沙一段,东三段烃源只在局部深埋处成熟。

3 油气富集的核心要素

辽东湾坳陷是一个油气非常富集的地区,中国海域油气自营勘探开始取得成功即是在辽东湾坳陷。1984—1988年在辽西低凸起上自营勘探发现锦州20-2、绥中36-1和锦州9-3等大中型油气田。尤其绥中36-1油田,地质储量达 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,是中国海上第二大油田。至2002年,在辽

东湾坳陷内的辽西凹陷、辽西低凸起及辽中凹陷西部缓坡带上均发现了大中型油气田^[5],但是在辽中凹陷东部陡坡带及辽东凸起上钻12口探井,见到薄层或致密油层,没有商业油气流。2003—2005年,渤海勘探工作者对辽东带的油气地质条件进行了系统研究,尤其是对12口井失利原因、辽东带成藏主控因素进行了重点分析,获得了新的地质认识。

辽东带被辽东凹陷和辽中凹陷夹持。辽东凹陷小,新近系地层薄,基底埋深为2000~3000m,生油岩不成熟,辽东带东侧油源条件差。辽中凹陷是一个富生烃凹陷,已被大量资料所证实。辽东带紧邻辽中深凹陷的烃源岩区,辽东带西侧烃源岩条件好。从层位上看沙河街组生油岩均已成熟,能提供大量油源,而东营组烃源岩只在局部成熟,供油条件差。

辽东带发育两套主力储盖组合,两套次要储盖组合。东营组大型三角洲从北向南覆盖辽东带,辽中凹陷陡坡带是该区最有利的东营组储盖组合。沙河街组水下扇、浊积扇储层及上覆半深湖相泥岩构成了下部有利储盖组合。东营组和沙河街组是该区主力储盖组合。辽东凸起上潜山储层物性较差,尤其是缺失古近系泥岩盖层,因此潜山不能作为主要目的层。新近系馆陶组—明化镇组为冲积扇—辫状河沉积,砂岩多,孔—渗条件好,但泥岩单层薄(单层泥岩厚3~9m),横向分布不稳定,盖层差,馆陶组—明化镇组也不能作为主要目的层,潜山和新近系是次要储盖组合。

上新世晚期辽东带断层活动非常强,圈闭与断层相伴生,断层切割了油气层,也控制了油气水界面。圈闭类型以断鼻、断块为主,断层的封闭性决定了圈闭的有效性。

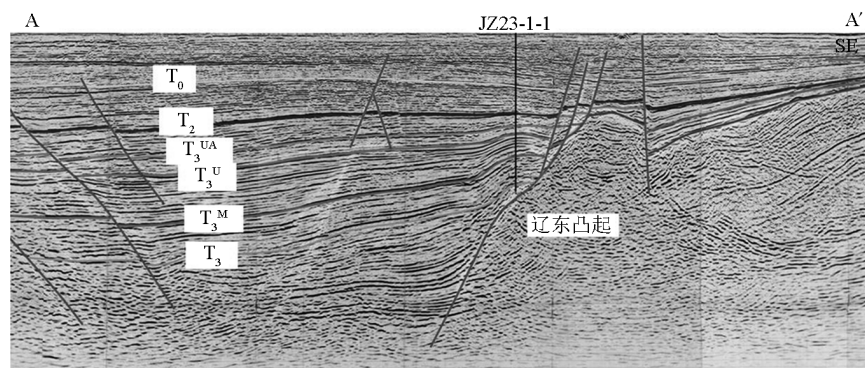
由上述内容可知,辽东带主力勘探目的层是东营组和沙河街组。东营组储—盖条件好,但东营组生油岩埋藏较浅,成熟度低,油气运移是能否成藏的关键。沙河街组生油条件好,利于形成原生油藏,但沙河街组储层为水下扇、浊积扇砂岩,分选较差,且埋藏深,成岩后生作用强,储层物性是沙河街组能否形成商业油气藏的关键。

1) 运移是东营组成藏的关键:辽东湾坳陷重要的石油地质特征是东营组大型三角洲发育^[6],储—盖条件好,在三角洲储层中发现了大量石油。辽东湾坳陷从西向东、从北向南依次形成了凌河三角洲、绥中三角洲、秦皇岛三角洲、辽河三角洲、金县三角

洲、复洲三角洲等。三角洲面积大且地层厚,为砂泥岩不等厚互层,砂层单层厚 5 ~ 90 m,泥岩单层厚 7 ~ 200 m,储层孔隙度为 25 % ~ 35 %,渗透率为 $100 \times 10^{-3} \sim 5\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是非常好的储层。锦州 9-3、绥中 36-1、旅大 4-2、旅大 5-1、旅大 10-1 等大—中型油田的储层都是东营组三角洲。在辽东带有辽河三角洲、金县三角洲、复洲三角洲等形成了很好的储盖组合。依照辽西的勘探经验,在 1997—2002 年期间,以东营组三角洲为主要目的层,在辽东带进行了勘探,钻探了 JZ17-1-1、JZ17-2-1、JZ17-3-1、JZ23-1-1、JZ23-1-2、JX1-1-1、LD12-1-1 等探井,钻井揭示东营组三角洲储盖条件非常好,但油层少且厚度薄,只在 JZ23-1-1 发现 15 m 油层,其他探井无油层发现。笔者曾逐一分析了这些失利井,这些井所对应圈闭均为断块、断鼻,类型都较差,但圈闭落实,储盖组合优越。这些圈闭都在辽中断层下降盘,圈闭下部就是沙河街组生油岩,油源充足。钻井过程中没有见到稠油或沥青,说明保存条件并不差,没有破坏原生油藏。东营组圈闭落实,储—盖优越,油源充分,保存条件不差,而没有成藏只能是运移问题。以上 7 口

井中只有 JZ23-1-1 发现了薄油层,且只有锦州 23-1 构造东营组地层存在回倾(见图 2),油层就在回倾断鼻内,其下部顺向断鼻内无油层,其他 6 个构造均是辽中断层下降盘的顺向断鼻或顺向断块(见图 3),均无油层。并且北面的辽河油区在辽东构造带也钻了不少探井,只在葵花岛构造东营组发现了油层,这个构造的地层产状与锦州 23-1 相似,为回倾断鼻或屋脊断块,其他的顺向断鼻或顺向断块也无油层。

东营组只在回倾断鼻、屋脊断块中有油气聚集,在顺向断鼻或顺向断块中无油气是油气运移决定的。东营组生油岩不成熟,不能形成自生自储油藏,当深部沙河街组生成油气沿辽中断层运移时,若东营组地层回倾或是存在屋脊断块,则油气可以从下倾部位运移至圈闭高部位形成富集。若东营组地层一直向东抬升,油气不能倒灌,则圈闭内得不到油气供给。东营组圈闭中要聚集油气必须具备三个条件之一:a. 上述辽中断层下降盘地层回倾;b. 圈闭西面辽中凹陷内还有同生断层可作运移通道;c. 东营组生油岩在局部已经成熟,生成的油气沿砂层横向运移至东营组圈闭中聚集。



T₀—明化镇组底; T₂—馆陶组底; T₃^{UA}—东一段底; T₃^U—东二段上段底;
T₃^M—东二段底; T₃—东营组底

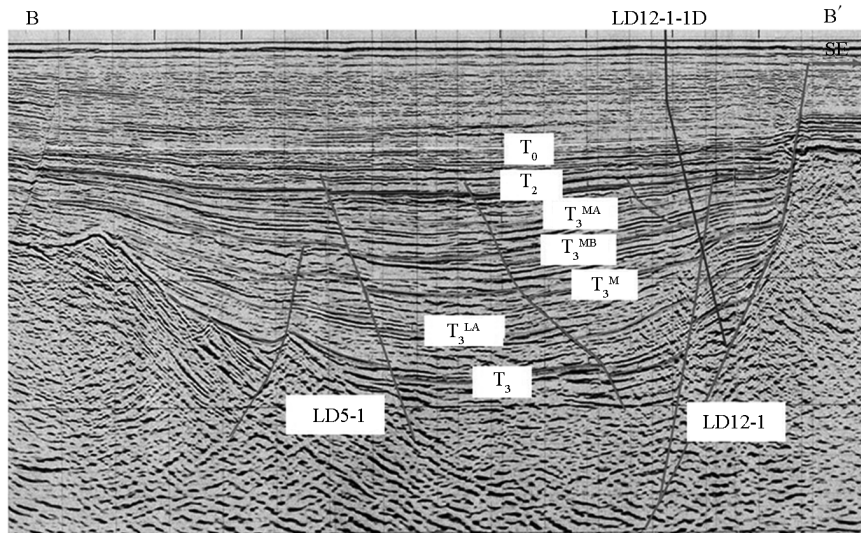
图 2 JZ23-1-1 过井剖面图

Fig. 2 Seismic profile through the bore hole JZ23-1-1

2) 储层物性是沙河街组成藏的主控因素;沙河街组是北面辽河油区最重要的储油层。辽河油区已探明石油地质储量达 $22 \times 10^8 \text{ t}$, 80 % 储量在沙河街组内。而其南面的辽东湾坳陷沙河街要逊色得多。锦州 20-2 凝析气田是沙一段生物碎屑灰岩储层,它是辽东湾的第一个发现。后来又在锦州 25-1S、锦州 25-1 构造沙二段的三角洲中发现轻质油和天然气,辽西凹陷的主要目的层仍是沙河街组。从

1987—2002 年辽东带钻探结果来看,沙河街组的钻探效果很差,JZ27-6-1、JX1-1-1、LD12-1-1 三口井揭示了沙河街地层,在 JZ27-6-1 井发现油层 27.8 m,测试产量为 $157.59 \text{ m}^3/\text{d}$ 。JX1-1-1 发现了 45.4 m 差油层,测试产量为 $22.22 \text{ m}^3/\text{d}$,因产量低或储量小,没有开发价值,LD12-1-1 井只见显示没有油层。

辽东带沙河街组成藏主控因素是储层物性,因



T_3^{MA} —东二上段油层顶; T_3^{MB} —东二上段油层底; T_3^{LA} —东三上段底

图3 LD12-1-1D 过井剖面图

Fig. 3 Seismic profile through the bore hole LD12-1-1D

为沙河街组自身是生油层,油源及运移不是问题。该区圈闭类型不好,圈闭都与断层有关,但圈闭类型只决定充满度,类型差则充满度低,类型好则充满度高^[7,8]。储层物性则决定了商业性,JZ27-6-1井沙河街组为浊积砂体,单层厚度较薄(平均约为4.5 m),横向分布范围较小,储量小,从1990年发现以后一直未能开发。JX1-1-1沙河街组砂岩太细,为粉—细砂岩,尤其是2700 m以下的铁白云质胶结,成岩后生作用强,储层物性差(孔隙度为14%,渗透率为 $5.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。LD12-1-1井在沙河街组只揭示了薄层白云岩及粉砂岩,储层物性差,只见油气显示没有发现油气层。

沙河街组沉积时期,辽东带为大坡降,多物源,短距离沉积,且邻近拗陷处多为古生界碳酸盐岩剥蚀区,化学风化为主,不利于提供优质碎屑物质形成好储层;东营组沉积时源远流长的河流发育,变质岩剥蚀区提供了大量碎屑物质,经长距离搬运、淘洗,在辽东带形成了大型三角洲优质储层。

可见在辽东带的沙河街组为目的层的勘探中,要特别注重储层的研究。近物源区浅埋的储层物性较好,因为近物源区颗粒粗,孔—喉半径大,物性较好;浅埋的储层成岩后生作用弱,能保持较高的原生孔隙。较好的储层是辽东带寻找沙河街组商业油气流的重要条件。

4 金县1-1油藏特征

经过2003年1月至2005年8月的深入研究,

两次技术讨论会的研讨,勘探工作者对辽东带基本的石油地质条件、12口已钻井的失利原因及成藏的主控因素有了深入的突破性认识。在2005年8月29日,钻探JX1-1-2D井前一天,公司技术负责人再次组织讨论了该井的有利条件及风险,明确指出与已钻的12口井相比,JX1-1-2D井有3个有利因素:第一,东营组目的层油气运移条件较好,构造西面的张性断层断至生油岩层内,断层具继承性,可以成为东营组储层的供烃断层;第二,沙河街组靠近物源,岩性较粗,且埋藏相对较浅,成岩后生作用弱,储层物性可能较好;第三,对沙河街组储层岩矿特征进行了仔细分析,有针对性地配置酸化溶液,如果油层物性差,可进行有效酸化提高产量。当时预测3个因素只要有一条落实,就能发现商业油田。功夫不负有心人,钻后证实前两个因素均得到证实。在东营组和沙河街组均发现了较厚的好油层,厚度分别为20.1 m及23.3 m,测试产量分别为 $90.3 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $47.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。金县1-1油田是在辽东带上发现的第一个油田,并且地质储量达 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,是一个大油田。

金县1-1是一个断裂—背斜构造(见图4、图5),其形成受断层及泥底辟的控制。渐新世末期,辽中断裂是郯—庐断裂在辽东湾的主干断层。辽中断裂受张—扭应力作用,强烈活动,在JX1-1构造东面抬升,并向南走滑,西面下降向北走滑。同时张—扭断层活动,使地层破碎,并诱发沙三段塑性

泥岩在主断层处上拱底辟,加剧了上部断块的运动,使圈闭幅度增大。金县 1-1 构造以辽中断层为界,分东西两个半背斜,两个半背斜又被多条北东东向次级断层分成多个断块,西部半背斜上有 5 条次级断层分成 6 个断块;东部背斜上有 12 条次级断层,

分割成 13 个断块,次级断层呈羽状展布,与主断层的交角为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。辽中主断层在剖面上呈上缓下陡,与次级断层组成“树枝状”结构,断层的平剖面具有水平走滑特征。在东营组主力油层顶部整体圈闭面积为 67.2 km^2 ,幅度 $130 \sim 900 \text{ m}$ 。

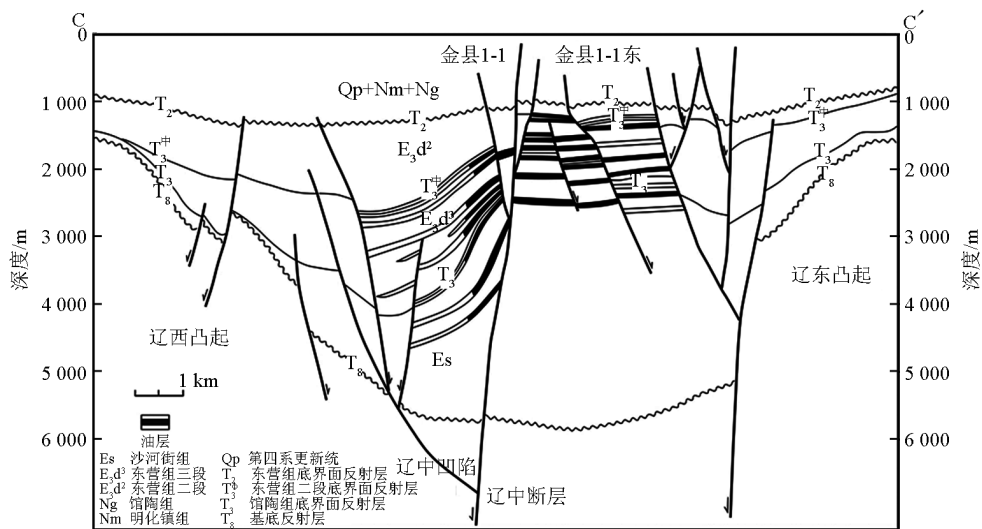


图 4 JX1-1 油藏剖面图

Fig. 4 The geological profile of JX1-1 structure

注:剖面位置见图 1

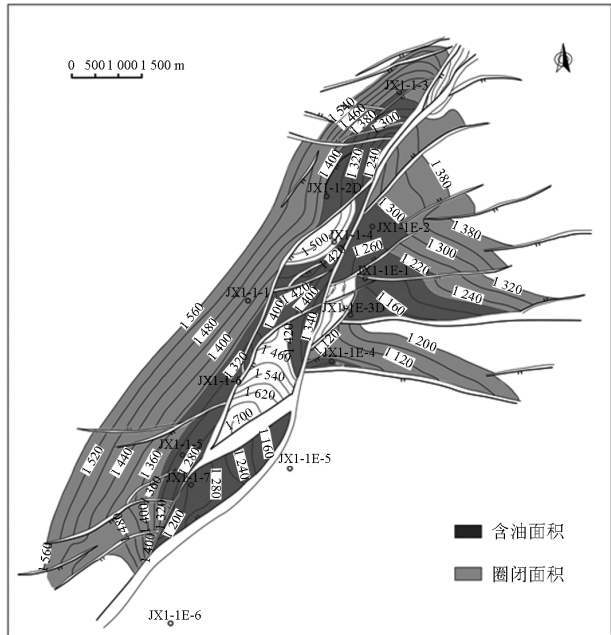


图 5 JX1-1 东营组油层顶部构造图

Fig. 5 The structural diagram of the top of the Oil Group in Dongying Formation for JX1-1 structure

注:等深数值单位为毫米

金县 1-1 油田的油层主要分布在沙河街组和东营组。沙河街组储层为扇三角洲沉积,物源是东面的胶辽隆起,属近源沉积,岩性组合为砂泥岩互层,砂岩单层厚 $3 \sim 40 \text{ m}$,泥岩单层厚 $3 \sim 10 \text{ m}$;砂岩主要成分是石英、长石、岩屑,属岩屑质长石砂岩,细粒为主;储层埋深 $1500 \sim 3600 \text{ m}$,储层孔隙度为 $17\% \sim 34\%$,平均约为 24% ,渗透率为 $10 \times 10^{-3} \sim 1500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均约为 $265 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中孔中渗储层。东营组为三角洲沉积,属金县三角洲体系;源远流长的河流携带的砂质碎屑经长距离搬运,磨圆、分选好,形成储层的孔隙度为 $18\% \sim 38\%$,平均约为 31% ,渗透率为 $55.9 \times 10^{-3} \sim 1989.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均约为 $950 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为高孔高渗储层。砂岩单层厚 $3 \sim 25 \text{ m}$,泥岩单层厚 $2 \sim 383 \text{ m}$ 。岩石中石英含量为 $65\% \sim 78\%$,长石为 $16\% \sim 25\%$,岩屑为 $6\% \sim 15\%$,属岩屑长石质石英砂岩。

金县 1-1 是一个多油水系统的断裂背斜油藏(见图 4)。基本聚油单元是断块,不同断块具有不同油水界面,同一断块内不同砂层组具有不同油水系统,同一断块内一般有多多个油水系统。金县 1-1

油田内原油性质变化很大,沙河街组为轻质油,原油密度为 $0.828 \sim 0.866 \text{ g/cm}^3$ 。东营组中部为中质原油,原油相对密度为 $0.876 \sim 0.925 \text{ g/cm}^3$ 。东营组上部为重油,原油相对密度为 $0.943 \sim 0.998 \text{ g/cm}^3$ 。因原油性质,储层物性不同,测试产量也不同,沙河街轻质油产量为 $45 \sim 203 \text{ m}^3/\text{d}$,东下段为 $27 \sim 171 \text{ m}^3/\text{d}$,东上段为 $8.2 \sim 22.1 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前金县 1-1 油田正在建设中,在油田高部位钻探的开发井,单井油层厚达 190 m,是渤海单井油层最厚的开发井,该油田将为渤海稳产 $3\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 做出重要贡献。

5 结语

1) 已钻井成败原因分析,成藏主控因素分析是勘探突破的最有效方法,金县 1-1 油田是经历了 15 年勘探,钻探 12 口探井之后,经深入分析,突破认识,指导勘探发现的大油田。

2) 辽东带东营组生油岩成熟度低,不能提供油源,东营组成藏的关键是油气运移。

3) 辽东带沙河街组为近源沉积,分选较差,碳

酸盐岩胶结物含量高,且埋藏较深影响储层物性,沙河街组突破的关键是寻找好储层。

参考文献

- [1] 龚再升,王同纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报,2001,22(2):1-8.
- [2] 蔺殿忠. 渤海湾盆地的扭动构造特征及其对油气的控制作用[J]. 石油与天然气地质,1982,3(1):16-23.
- [3] 王国纯. 辽东湾拗陷构造格局的讨论[J]. 中国海上油气,1988,2(2):85-89.
- [4] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气,2001,15(5):301-305.
- [5] 朱伟林,米立军,龚再升,等. 渤海海域油气成藏于勘探[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [6] 邓运华,李建平. 浅层油气藏的形成机理—以渤海油区为例[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
- [7] 邹华耀,周心怀,鲍晓欢,等. 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[J]. 石油学报,2010,31(6):885-893,899.
- [8] 宗奕,邹华耀,滕长宇. 郯庐断裂带渤海段断裂活动差异性对新近系油气成藏的影响[J]. 中国海上油气,2010,22(4):237-239.

The geological recognition breakthrough in Liaodong zone, which leading to the discovery of the large oilfield JX1-1

Deng Yunhua

(China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100010, China)

[Abstract] Liaodong zone includes eastern actic region of Liaozhong sag and Liaodong uplift, which is between Liaozhong sag and Liaodong sag with good condition of source rocks and favorable reservoir-seal assemblages in Dongying formation. Meanwhile, there are many fault blocks and nose-shaped structures. However, twelve wells were drilled during 15 years without any significant business discovery by foreign oil companies and domestic petroleum enterprises before 2002. Based on deep research of geological condition and analysis on dry wells again in Liaodong zone, we recognized that two main reservoir plays existed at Dongying and Shahejie formation. Moreover, the dominative factor for Dongying is migration and the one for Shahejie is reservoir. According to this guidance, such giant oilfield JX1-1 was discovered with 150 million reserves in the end through right research direction and favorable targets evaluation, which shows great importance of scientific research in oil and gas exploration.

[Key words] Bohai Liaodong zone; JX1-1; geological recognition; large oilfield