

文章编号: 1001- 6112(2002) 05- 0418- 05

渤海湾盆地东濮凹陷 杜桥白地区深层天然气成藏规律

苏玉山¹, 张联盟², 吴莉芝², 王兴武²

(1. 中国地质大学 能源系, 北京 100083; 2. 中国石化 中原油田分公司 勘探开发科学研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 东濮凹陷杜桥白地区主要包括桥口、白庙、杜寨 3 个含油气构造, 是一个具有较大资源背景的深层天然气富集区。在构造精细解释、储层沉积相新认识的基础上, 该文对杜桥白区深层油气藏进行解剖, 分析了油气藏成藏条件与控制因素, 逐步明确了油气成藏规律。杜寨地区为深洼陷背景, 构造简单, 是一个大型岩性含气区; 桥口地区发育构造- 岩性控制下的凝析气藏; 白庙地区发育岩性- 构造控制下的带油环气藏, 成藏条件复杂。

关键词: 成藏规律; 天然气; 深层; 杜桥白; 东濮凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

杜桥白地区位于东濮凹陷中部, 地处前梨园和葛岗集两大主要生油洼陷之间, 包括桥口、白庙、杜寨 3 个含油气构造及其临近的前梨园洼陷南翘倾端和葛岗集洼陷北端, 勘探面积 500km²。其中桥口构造处于东濮凹陷中央隆起带, 是受黄河断裂系控制的一个继承性背斜; 白庙构造处于兰聊断裂带下降盘, 为兰聊断层和杜寨断层共同控制的一个继承性半背斜; 杜寨构造处于东部洼陷带前梨园洼陷南部, 是一个发育于 E_s³⁽²⁾-E_s³⁽⁴⁾ 期的岩性圈闭 (图 1)。

随着勘探工作量的加大, 杜桥白地区深层气勘探取得了一定进展, 但深层存在的一些问题制约了勘探深入及储量升级, 主要表现在以下几个方面: a) 杜桥白地区深层构造各有特点, 且三者关系不明确; b) 杜桥白地区深层砂体来源和变化趋势不清楚, 砂岩平面变化快, 预测难度大, 储层单层厚度小、物性差, 纵向上, 高孔高渗储层发育带难以预测; c) 桥口地区上油下气分布, 白庙地区上气下油分布, 杜寨地区仅深层存在干气分布, 油气分布原因尚不清楚, 油气藏类型及成因的认识尚待进一步深化和提高。

笔者近几年主要针对这些问题开展综合研究工作, 分析了油气藏成藏条件与控制因素, 在研究油气成藏规律的基础上, 指导勘探生产取得了较好效果, 对渤海湾盆地及类似地区的深层气勘探具有一定的借鉴意义。

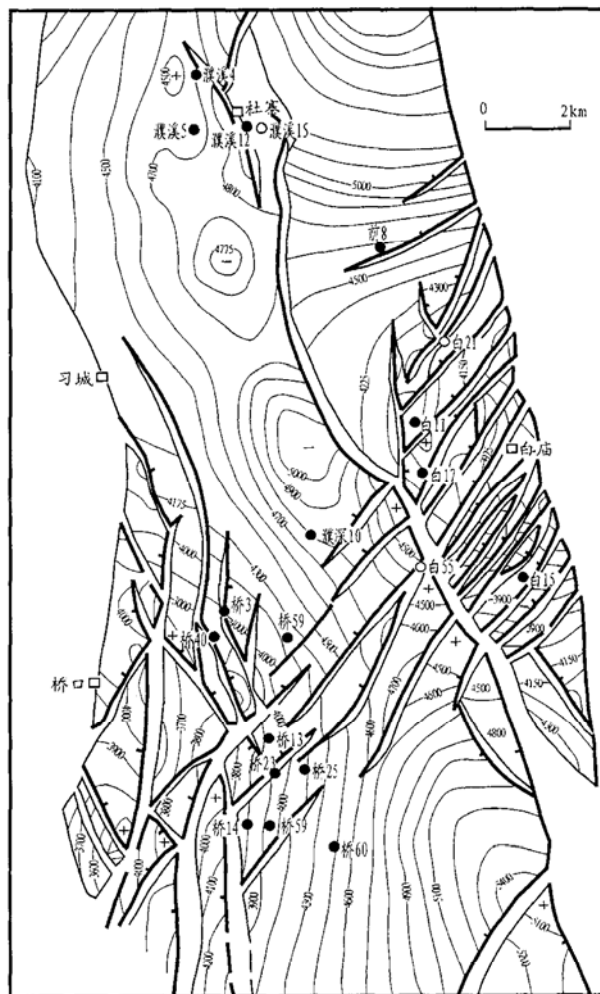


图 1 杜桥白地区 T₀³ 界面构造略图

Fig. 1 A Structural sketch of Du-Qiao Bai area

收稿日期: 2001- 07- 26; 修订日期: 2002- 07- 29.

作者简介: 苏玉山(1965-), 男(汉族), 山东东明人, 硕士、高级工程师, 主要从事石油勘探的研究工作。

1 油气成藏地质条件

1.1 构造特征

本区发育兰聊、杜寨、黄河、李屯、玉皇庙等断层,受这些断层控制,形成了环前梨园洼陷南部的斜坡带,区内发育杜寨断鼻、桥口背斜和白庙半背斜3个局部构造。

白庙构造是兰聊断层下降盘最大的局部构造,为兰聊断层和杜寨断层共同控制的一个继承性半背斜,向南潜伏入葛岗集洼陷,向北潜伏于前梨园洼陷。其地层向南、西、北3个方向倾伏,向西与桥口背斜隔鞍相接。白庙构造内部极其复杂,被杜寨断层分割为杜寨断层下降盘断鼻和上升盘二台阶,又被二组近东西向的断层切割复杂化,并受深层地垒的影响总体上具有“三鼻一垒”的次级格局。

桥口背斜是中央隆起带南部最北端的局部构造,是受黄河断裂控制的一个继承性背斜,以低鞍部与白庙构造相连,向东北经杜寨地区倾伏于前梨园洼陷,向东南倾伏于葛岗集洼陷。该背斜被黄河断层、李屯断层、玉皇庙断层分割为黄河断阶带、玉皇庙断层北地垒带及玉皇庙断层南反向屋脊带,深层气主要富集于桥口构造东翼。

杜寨地区位于前梨园洼陷南部斜坡带,实际上是白庙构造北翼向前梨园洼陷潜伏的部分,被杜寨断层切割。

1.2 沉积相特征

过去很长时间内都认为杜桥白地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 段发育深水水下扇沉积,而最新研究表明,该区发育三角洲—滑塌扇沉积体系(图2)。

杜寨地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 段发育完整的三角洲体系,从东向西依次发育三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲亚相。白庙地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 段发育三角洲前缘沉积。主要特征为:成分成熟度较高;粒度概率曲线以两段式和三段式为主;层理类型主要见正递变层理、反递变层理、平行层理、斜层理、波状层理;岩性组合为砂泥岩不等厚互层,纵向上砂岩百分含量 25%~45%;有机质丰度低;泥岩以灰色为主,偶见红色。微相类型主要有水下分流水道和分流水道间。

桥口地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 段沉积相类型为滑塌浊积扇沉积。主要特征为:岩性组合为暗色泥岩夹砂岩、或暗色泥岩与砂岩不等厚互层;砂岩以细砂岩为主,见含砾砂岩;成分成熟度较低,石英含量 50%~71%;粒度概率曲线以上凸弧线型和二段过渡型

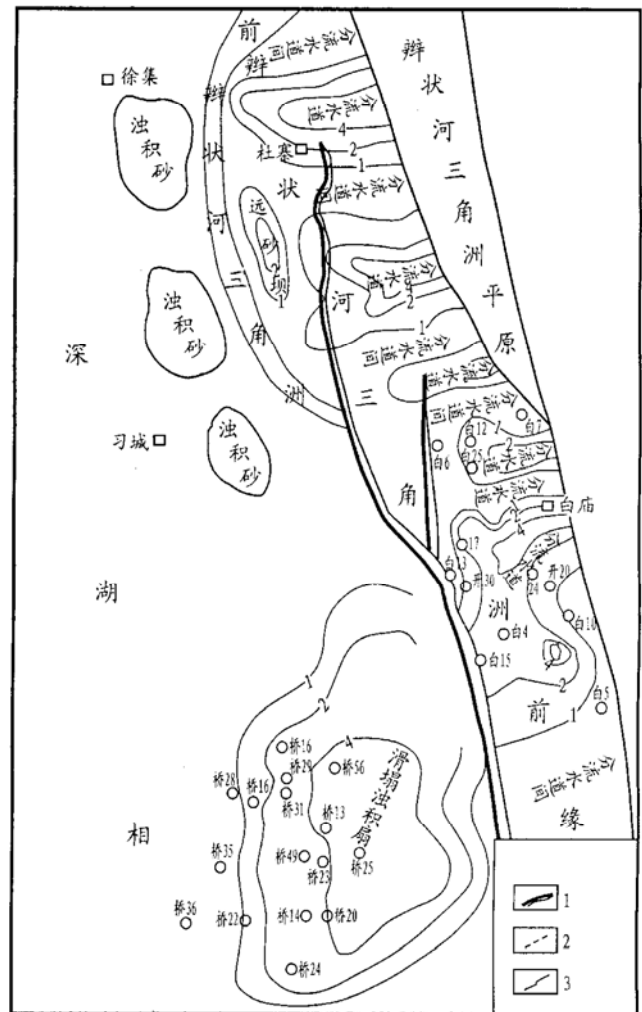


图2 杜桥白地区 $E_s^{3(3)}$ 段 iv 砂组第1砂层沉积微相图
1. 断层; 2. 沉积相带分界线; 3. 砂岩等值线

Fig. 2 Sedimentary microfacies for No. 1 Sand layer in I sand formation of $E_s^{3(3)}$ section, Du Qiao-Bai area

为主;见大量重力流的特有沉积构造,深水冲刷面、槽模、渠模,并见到不完整的鲍玛序列。

$E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 沉积期,兰聊断层杜寨—白庙段活动强度较弱,对沉积的控制也非常微弱;杜寨断层在杜寨地区相对静止,对沉积不起控制作用,而在白庙地区活动较强烈,对沉积起控制作用。因此,杜寨地区发育完整的三角洲体系,而白庙地区只发育三角洲前缘沉积,推测三角洲平原部分发育在兰聊断层的上升盘。当白庙三角洲推进到杜寨断层带时,由于水体突然变深,发生重力流滑塌作用形成桥口滑塌浊积扇。

1.3 储层特征

1.3.1 储层岩性

多为粉砂岩、细砂岩,少量中、粗砂岩,兰聊断层下降盘沉积有含砾砂岩、砾岩、角砾岩。

1.3.2 物性特征

杜桥白地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 段砂岩孔隙度最大值为 17.4%,一般 8%~12%,渗透率最大值 $7.62 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,一般在 $(0.5 \sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以低孔低

表1 杜桥白地区储层物性特征

Table 1 Characteristics of reservoir properties in Du Qiao Bai area

层位	桥口		白庙		杜寨
	Φ %	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	Φ %	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	Φ %
$E_s^{3(3)}$	8~13	≤ 1.0	8~13	< 1.0	5~11
$E_s^{3(4)}$	6~14	$< 0.2\sim 6.5$	5~11	$< 0.2\sim 0.8$	4~7.5

渗储层为主,少量中孔低渗储层和极低孔极低渗储层(见表1)。

1.3.3 储层分布规律

白庙地区:砂岩百分比图和砂岩等厚图反映出白7、白10、白51井附近存在三个物源区,有利储层主要分布于白4、白11、白17一带。

桥口地区:桥口背斜东翼油气较为富集,砂体分布总体上呈由东向西、由南向北减薄的趋势,同时显示有南东、南西、北东方向三个物源区。

杜寨地区:据 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 几个砂组预测,砂岩厚值区主要集中于南部和东部,即主要物源为这两个方向,这与沉积相研究结果一致。

2 深层油气藏特征

杜桥白地区油气藏各有特点,杜寨、桥口地区为气层气,而白庙地区则为带油环的气顶气藏,这和该区发育超压异常有关^[1]。杜寨地区深层气甚至表现出深盆气的特点^[2]。

2.1 桥口地区气藏特征

2.1.1 油气藏性质

桥口深层天然气相对密度 0.57~0.76g/cm³, CH₄ 含量 77.59%~78.67%, 平均 78.31%, 甲烷/重烃系数小于5,组分特征为典型的油成气,主要为

含凝析油低的湿气。气藏具常温、高压特点,温度可达130℃以上,压力最高69.9MPa, $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 气藏压力系数为1.2~1.5,平均1.22。

2.1.2 气藏类型

桥口构造内油气呈上油下气的系列分布, $E_s^{3(2)}$ 以上含油,且都集中在构造顶部; $E_s^{3(3)}$ 为油气过渡段,上部以油为主,中部带气顶油藏,下部纯气藏; $E_s^{3(4)}$ 构造顶部以油藏为主,构造东翼为气富集区。纵向上气层埋藏深、含气井段长,从气藏几口井含气井段统计情况来看,气藏含气高度超过1000m。平面上由于储层岩性细,单层厚度薄,横向变化大,油气单砂组呈土豆状分布,纵向上叠加连片分布。

2.2 白庙地区油气藏特征

2.2.1 油气藏性质

白庙构造深层油层、气层均有一定范围的分布,原油密度低,从0.755~0.842 g/cm³,一般在0.802g/cm³,天然气相对密度0.57~0.78g/cm³,甲烷含量为81.32%~12.43%,为含凝析油的湿气。气藏具常温、高压特点,温度可达130℃以上,压力最高72.53MPa,压力系数最高可达1.73。

白庙构造 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 油气埋藏深,一般在3600~4100m之间;油气层井段长,7个砂组一般长约300m;由于白庙地区 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 储集层相对不发育,砂岩百分比低,油气层纵向上比较分散。构造复杂破碎,断块多,在白庙构造形成过程中发育了两期不同性质的配套断层,它们断距小、延伸短、数目较多,将深层 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 油气藏切割为多个小断块,形成多断块油气藏。

白庙地区深层为多层状油气藏(图3),单砂体形成薄层储盖组合,具上倾尖灭,物性变化封堵或断

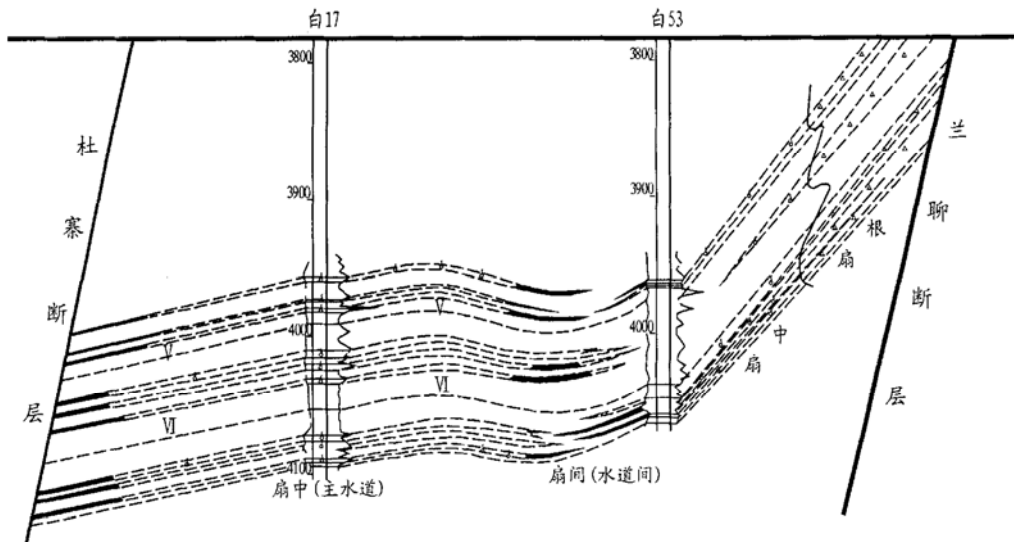


图3 白庙构造油气藏剖面图

Fig. 3 Cross section of petroliferous reservoirs in Baimiao structure

层封堵形成完整的配置。储层物性低孔、低渗,碳酸含量高,非均质性强,是典型低孔渗深层气藏。

2.2.2 气藏类型

白庙深层油气藏侧向上受构造、岩性两种因素控制。东部既有砂岩上倾尖灭形成的封堵,又有砂岩向物源根部变粗,渗透性变差形成的封堵;其西侧以杜寨断层为界,向南抬升的高部位被几条早期的东南正断层和岩性封堵,是带油环的构造岩性复合凝析气藏。

2.3 杜寨地区气藏特征

2.3.1 油气藏性质

据已完钻的四口井试气分析结果,天然气甲烷含量 91.17%~96.07%,天然气相对密度 0.574 8

气藏分布高度远远大于构造圈闭幅度,该气藏主要受砂岩分布控制,构造对油气分布影响不大。据气藏温度、压力及储层分布状况推断,气藏类型为构造-岩性气藏。

2 杜桥白地区深层油气成藏规律

特征;二是以白庙、桥口地区为代表的深洼陷边缘或斜坡背景,此类地区位于生烃洼陷的边缘带,构造或构造-岩性起主要作用,储气层位多,从 $E_s^{2(1)}$ 到 $E_s^{3(3)}$ 、 $E_s^{3(4)}$ 亚段均有,气藏封闭于常压-超压环境;第三类是中央隆起带背景,构造起主要作用,含油气层位从 $E_s^{2(1)}$ — E_s^4 均有,油气层压力属常压-弱超压。

3.1 桥口地区油气成藏规律

3.1.1 桥口构造的油源

桥口构造紧临葛岗集、前梨园和孟岗集生油洼陷,处于油气运移的有利指向区,具有较好的油源条件。油源对比结果及油气分布规律表明:油源主要来自于东部洼陷。

3.1.2 断层对油气运移和聚集的影响

生油洼陷中油气生成后经连通的砂层向高部位侧向运移,当断层活动时,油气可穿越断层进入较新

的储层,或沿断层垂向运移至上部较新储层中;当断层停止活动时,储层上倾部位被泥岩段或断层泥封堵,阻挡了油气的进一步运移,并在断层靠近油源一侧的构造高部位聚集形成油气藏。本区油气藏受西倾断裂的下挫影响,含油气层位变新,充分反映了断层对油气运移和聚集的控制作用。

3.1.3 保存条件与圈闭油气富集程度的关系

由于盖层、侧向封堵条件及断裂活动强弱的不同,圈闭的保存条件各异,油气的富集程度也不一样。在玉皇庙断层以西,断裂活动结束晚,油藏遭受破坏,保存条件差,油气富集程度低;而在断层以东,由于断裂活动结束早,油气藏受到的影响小,保存条件较好,油气富集程度高。

3.2.1 构造对油气藏的影响

白庙构造处于前梨园和葛岗集生油洼陷之间,长期继承性发育,是油气运移、聚集的有利部位。

3.2.2 断层的控制作用

白庙构造分别发育了3组断裂带,即杜寨断层、白12断裂带和白10断裂带。它们既对构造切割伸

3.2.3 储集层对油气藏的控制作用

形成典型的岩性上倾封堵。一类是上倾方向为物源区较粗的杂砂岩沉积、渗透性差,形成岩性枫堵;另一类是上倾方向岩性尖灭形成封堵;在主水道、河口砂坝良好渗透性储集体(如白11、白17井周围)形成油气的富集。

3.3 杜寨地区油气成藏规律

杜寨地区处于前梨园洼陷中,早期 $E_s^{3(3)}$ — $E_s^{3(4)}$ 生成的油气向构造高部位运移,深层无油气聚集。在晚期干气生成阶段,由于超压封存箱的形成^[4],在封存箱内聚集干气,形成晚期的干气藏。

4 勘探效果分析及有利勘探方向

4.1 勘探效果分析

通过对本区深层基本石油地质条件的重新认识

与评价,弄清了杜桥白地区深层油气藏的成藏规律与成藏模式,应用于勘探实践中,取得了较好效果。近两年在杜桥白地区深层开展了大量工作,共钻探井10口,2000年钻桥59井,在 $E_s^{3(2)}$ 底部测试日产气 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$, $E_s^{3(3)}-E_s^{3(4)}$ 电测油气层38.8m/14层,桥58井在 $E_s^{3(4)}$ 段4301.4~4316.4m试气10.6m/3层,获得初期日产气 31600 m^3 ,从而打开了桥口东翼勘探的新局面。带着新认识,在白庙地区也开展了大量老井复查与重新试油工作,多口井获高产工业油气流。1999—2000年,杜桥白地区共探明天然气地质储量 $74.24 \times 10^8 \text{ m}^3$,探明石油地质储量 $266 \times 10^4 \text{ t}$,控制天然气地质储量 $38 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。基本明确杜桥白地区深层连片含气,是一个储量具有 $610 \times 10^8 \text{ m}^3$ 规模的深层气勘探有利区带,取得了东濮凹陷深层气勘探的重大突破。

4.2 有利勘探方向

杜桥白地区圈闭资源量近 $610 \times 10^8 \text{ m}^3$,已形成连片含气的格局,下一步工作可坚持“由浅入深”的原则,分3步走。第一步首先拿下目的层埋深在4000m左右的白庙构造及桥口构造主体;第二步主攻目的层埋深在4500m左右的桥口构造东翼及白庙构造周边;第三步积极准备目的层埋深在5000m左右的杜寨地区和桥口白庙的接合部,力争年年新增探明储量,也为技术准备提供一个缓冲。

5 结论

a) 杜桥白地区发育三角洲前缘及水下滑塌浊积扇沉积,形成较发育的储层分布区,为油气成藏提供了良好的储集条件。

b) 杜桥白地区油气藏各有特点,杜寨、桥口地区为气层气藏,而白庙地区则为带油环的气顶气藏。

c) 桥口构造东翼气藏是受构造及岩性双重控制的岩性-构造油气藏,白庙气藏也是受构造及岩性双重控制的构造-岩性油气藏,杜寨为一岩性油气藏。

d) 杜桥白地区圈闭资源量近 $610 \times 10^8 \text{ m}^3$,已形成连片含气的格局,下一步工作应坚持“由浅入深”的原则,主攻目的层埋深在4500m左右的桥口东翼及白庙周边。

参考文献:

- [1] 马启富,陈斯忠,张启明,等.超压盆地与油气分布[M].北京:地质出版社,2000.
- [2] 苏玉山,王生郎,张联盟,等.超压异常对东濮凹陷深层油气藏的控制作用[J].石油勘探与开发,2002,29(2):49-52.
- [3] 张金川,金之钧,庞雄奇.深盆气成藏条件及其内部特征[J].石油实验地质,2000,22(3):210-214.
- [4] 苏玉山.东濮凹陷深层成藏条件[J].中国矿业大学学报,2001,30(2):201-205.

FORMATIVE LAWS OF DEEP NATURAL GAS RESERVOIR IN DU-QIAO-BAI AREAS, DONGPU DEPRESSION OF BOHAI BAY BASIN

SU Yurshan¹, ZHANG Liar-meng², WU Lizhi², WANG Xing-wu²

(1. Energy Resources Department, China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 2. Scientific Research Institute of Exploration and Development, Branch Company of Central Plains Oilfield, SINOPEC, Puyang, Henan, 457001, China)

Abstract: The three petroliferous structures, i. e., Qiaokou Baimiao and Duzhai in Du-Qiao-Bai areas, Dongpu depression constitute an enrichment area of deep natural gas with a significant resources background. On the basis of detailed structural explanation and new insights into sedimentary facies of reservoirs, the paper analyzes the deep oil/gas reservoirs in Du-Qiao-Bai areas, in terms of formative conditions and constraints of oil/gas reservoirs, progressively the laws of oil/gas reservoirs are derived. Duzhai area with a deep sag background and simple structure is a large lithologic gas-bearing zone; and structurally-lithologically controlled gas condensate reservoirs are developed in Qiaokou area; and Baimiao area is characterized by the development of lithologically-structurally controlled gas reservoirs with oil rings, whose reservoir formative conditions are rather complex.

Key words: law of reservoir formation; natural gas; deep, Du-Qiao-Bai; Dongpu depression; Bohai Bay basin