

渤海湾盆地南堡凹陷滩海区油气立体输导模式 ——以南堡 1 号构造带为例

刚文哲¹, 邹俭巍², 高 岗¹

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 大庆油田公司 第一采油厂, 黑龙江 大庆 163000)

摘 要:为研究渤海湾盆地南堡凹陷滩海区油气输导体系, 评价其输导能力, 对南堡凹陷滩海区 1 号构造带典型油藏进行剖析, 从骨架砂体的横向和纵向连通性以及断层在平面和剖面的输导特性入手, 分析输导要素在时空上的配置关系, 根据骨架砂体和断层在平面上的分布样式以及通源断层在剖面上的布局, 提出了南堡凹陷滩海区油气“伞状”运移的立体输导模式。

关键词:南堡凹陷; 滩海区; 输导体系; 输导要素; 输导模式

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1672-3767(2013)02-0009-08

Hydrocarbon Migration Pattern of Beach Region in the Nanpu Depression, Bohai Bay Basin ——An Example of Nanpu 1 Structure Belt

Gang Wenzhe¹, Zou Jianwei², Gao Gang¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. The First Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163000, China)

Abstract: In order to study the hydrocarbon migration system of beach region in the Nanpu Depression and evaluate its gas transporting ability, this paper analyzed the typical reservoir of beach region 1 structure belt and the relationship of migration elements in time and space based on the characteristics of skeleton sand bodies' connection and faults' migration. According to distribution patterns of skeleton sand bodies in horizontal and faults of communicating source rocks in vertical, the authors put forward the “umbrella shape” migration pattern with three-dimension at beach region in the Nanpu Depression.

Key words: Nanpu Depression; beach region; migration system; migration element; migration pattern

输导体系是含油气系统的重要组成部分^[1], 也是油气成藏的控制要素, 更是油气成藏研究的难点。输导体系是相对于某一独立的油气系统单元-含油气系统而言的, 是该单元内所有运移通道构成的立体网络系统^[2-7]。输导体系作为油气成藏中连接烃源岩与圈闭之间的桥梁和纽带, 指示油气运移方向, 决定油气成藏类型与成藏位置, 深入研究输导体系的类型、特征、分布规律、时空配置和有效性, 有助于认识油气运移的动态过程^[8-9]。对于认识含油气盆地油气成藏的分布规律, 提高油气藏预测精度有着极其重要的意义^[4,7,10-15]。

目前, 输导体系主要是根据研究需要进行划分^[2-6,16], 分类依据是输导要素组合方式和输导体系空间形态。一般划分为简单输导体系和复合输导体系。简单输导体系划分为储集体输导体系、断层输导体系和不整合输导体系; 复合输导体系划分为砂体-不整合面输导体系、砂体-断层输导体系、不整合面-断层输导体系和砂体-断层-不整合面输导体系^[4]。研究输导体系主要采用层序地层学和沉积学方法^[17-19]、物理模拟实验法^[20-21]、盆地模拟法^[22-23]、成藏动力学法^[24-26]、地球化学法^[27]和地质建模法^[19,28-30]等来描述输导体系的静态

收稿日期: 2012-09-14

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX5006-006)

作者简介: 刚文哲(1965—), 男, 陕西凤翔人, 教授, 博士, 主要从事石油地质与油气地球化学的教学和科研工作。

E-mail: gwz@cup.edu.cn

要素和动态要素,其中:静态要素分析,包括储集体精细刻画、断层封闭性和发育史、不整合展布、复合输导体各输导要素精细刻画及时空配置关系;动态要素分析,包括输导体与生烃时间、输导动力之间的耦合关系^[31]。相对而言,油气输导体动态要素和定量输导能力研究方面比较薄弱,是今后的研究方向。

近几年,随着南堡凹陷滩海地区油气藏的陆续发现,输导体系的控藏作用越来越受到人们重视,其研究成为当前油气勘探亟需解决的问题之一。南堡凹陷滩海区各主要构造带是在郯庐断裂带和张家口-蓬莱断裂带共同影响下形成的,因此构造特征整体上具有一定的相似性。通过对南堡 1 号构造带的输导要素的空间展布特征进行分析,探讨油气输导机理,确定优势运移通道的分布规律,建立油气立体输导模式,从而为油气藏的预测提供借鉴。

1 研究区地质背景

渤海湾盆地南堡凹陷滩海区位于黄骅坳陷的东北部,是在华北地台基底上,经中、新生代的断块运动发育起来的一个箕状凹陷(图 1)。渤海湾盆地是古近纪始新世形成的右旋走滑拉分盆地,由于新近纪晚期-第四纪的新构造运动剧烈,总体表现左旋走滑性质,造成渤海盆地浅层断裂的发育,形成很多正断层^[32-35]。这一期构造活动使得南堡凹陷滩海区新近系和第四系之间出现广泛的不整合,在南部滩海地区发生玄武岩喷发^[34]。大量断层和砂体的发育为南堡凹陷滩海区油气输导体系的形成提供了条件。

南堡 1 号构造带位于南堡构造带西部,主要构造形态为发育在潜山背景上的断背斜和断鼻构造,先后沉积了 Es3⁴⁺⁵、Es1 和 Ed3 三套主力烃源岩层;发育了 Es3¹⁻³、Es1 和 Ed1 三套优质储层,孔渗条件良好;与上覆两套区域性盖层-明化镇下段泥岩和馆陶组上段的玄武岩一起构成了良好的生储盖组合^[36]。

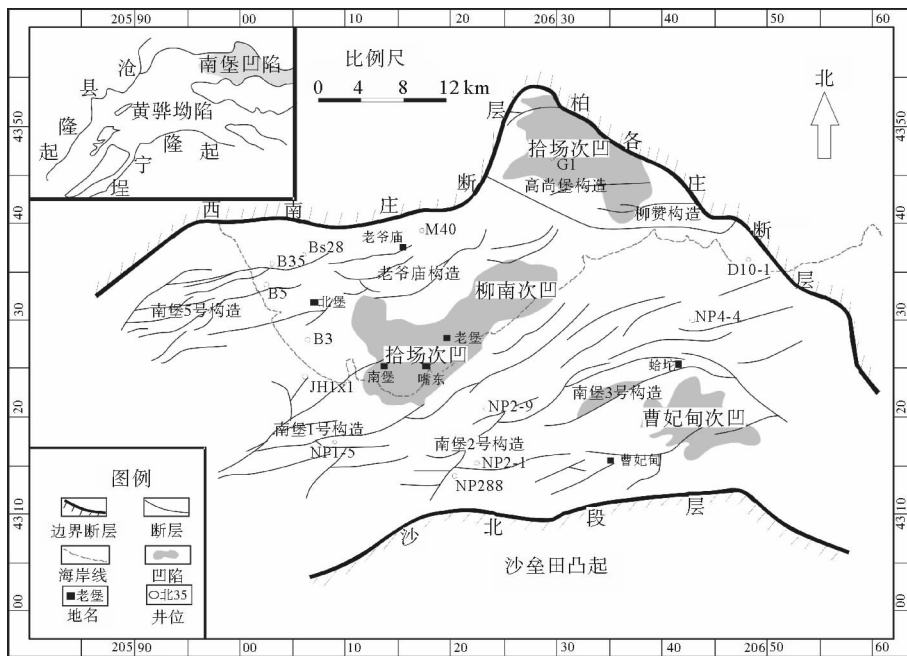


图 1 南堡凹陷区域位置简图

Fig. 1 Location map of Nanpu sag

2 输导要素及输导特征分析

南堡凹陷滩海区输导要素主要由骨架砂体和断层组成,不整合面输导次之。在裂谷盆地中构造活动频繁,输导特征总体表现为简单的复式输导^[35]。但在不同层段,输导类型有所区别。南堡凹陷滩海区输导体系类型主要有:断层-砂体型、砂体连通型和断层-砂体-不整合面型。研究认为,南堡凹陷滩海区油气输导主要以断层-砂体组成的复合输导体系为主。

2.1 断层级别与断裂样式

南堡凹陷断层相当发育,根据对构造的控制作用、发育的先后次序、成因联系以及断层的规模,可以分为控凹断层、控带断层(通源断层)和控源断层等三个级别(表 1)。除奥陶系内发现的潜山油气藏外,现今发现的已知油气藏几乎均与断层有关,而且均分布在通源断层周围,但不同级别的断层在油气运移成藏过程中所发挥的作用不同。控凹断层和控带断层(通源断层)控制了整个凹陷的油气分布。

表 1 南堡凹陷断层级别划分表
Tab.1 Classification criteria for fault grade of Nanpu sag

断层级别	主要表现	主要断层
二级断层	控凹断层,控制凹陷发育和下第三系沉积作用	西南庄断层、柏各庄断层、沙北断层
三级断层	控带断层,划分构造系统内的二级构造带	高柳断层、蛤坨断层、北堡断层、南堡断层、老堡断层
四级断层	控源断层,对断裂带起分块作用	南堡 1 号、2-3 号、4 号、5 号断裂带、老爷庙断裂带

南堡 1 号构造带的中、浅层底部断层起着垂向导作用的是长期活动的同沉积断层的主干部分,也就是南堡断层。这一部分垂向导沟通了沙一段成熟烃源岩,是沙一段向中浅层供烃的主要通道。而上部和浅层断层系统断层密度高、活动时期晚,大量“y”形断层的分支系统深入 Ed3 段烃源岩内部,是中浅层油气藏有效的供烃通道;而深层沙河街组的油气运移通道主要以砂体连通型输导类型为主。

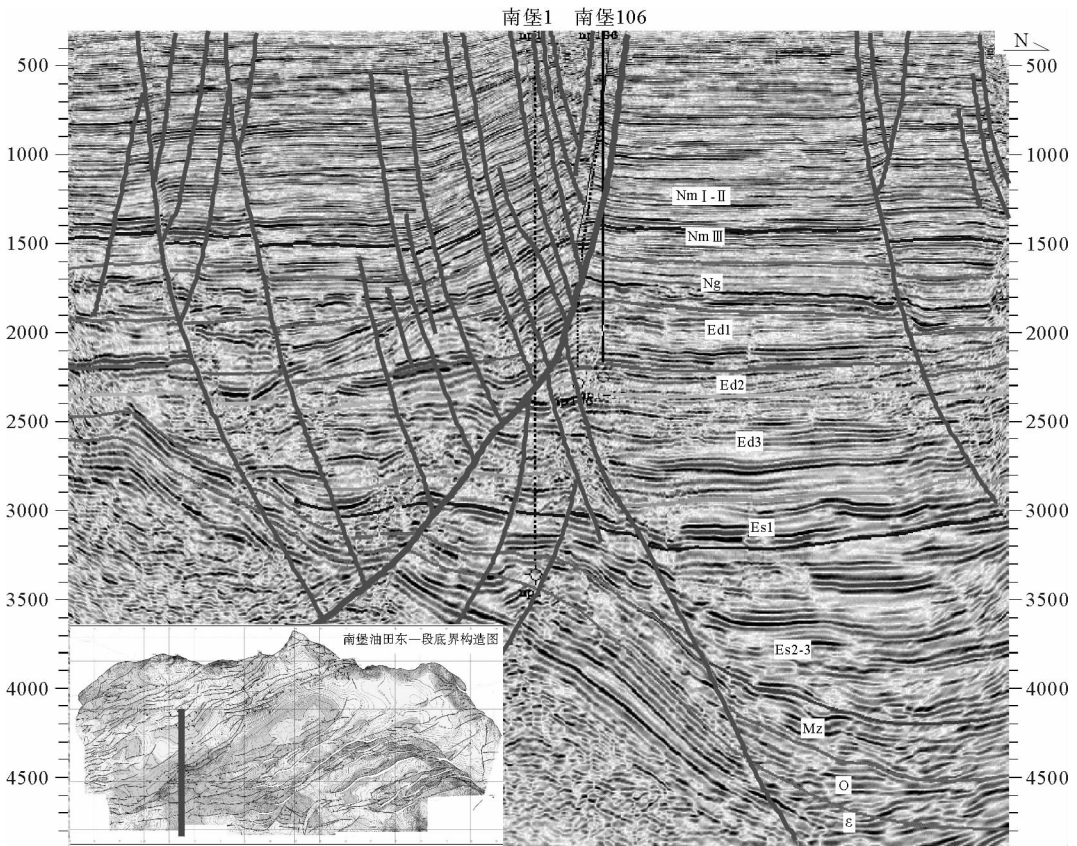


图 2 南堡 1 号构造带断裂样式图(据冀东油田研究院,2008)

Fig.2 Fracture type of No.1 structural belt in Nanpu Sag (after Jidong Oilfield,2008)

2.2 断层活动性与封闭性分析

南堡凹陷主干断层的活动性可分为三个阶段:一是剧烈活动阶段(沙河街期-东三期),此时断层活动剧烈,断层落差很大,活动速率处于最大阶段;二是相对平稳阶段(东二期-馆陶早期),该阶段整个凹陷处于断-拗转换期,多数断层活动微弱;三是再次活化阶段(馆陶期-第四纪),该时期断层受构造运动影响再次活化。

南堡 1 号构造区,油源主要来自东营组,而东营组生烃期较晚,因此在南堡断层及其分支断层垂向输导油气作用主要发生在新构造运动以后。而通过对各通源断层的断面正压力和断层泥比率(SGR)分析得知,Ed 末期断层封闭性良好,到了 Nm 末期,多数断层都处于半封闭-开启状态,输导性能良好。对断层两侧油样进行色质测定,可以看出南堡 1 号构造带南堡断层两侧原油的生标物分馏效应明显,埋藏深的地区, C₃₀ 萘烷/藿烷值要小一些,而断层另一侧,即上升盘内的数值要高一些,说明该断层不仅发生垂向运移,侧向运移也很明显(图 3)。

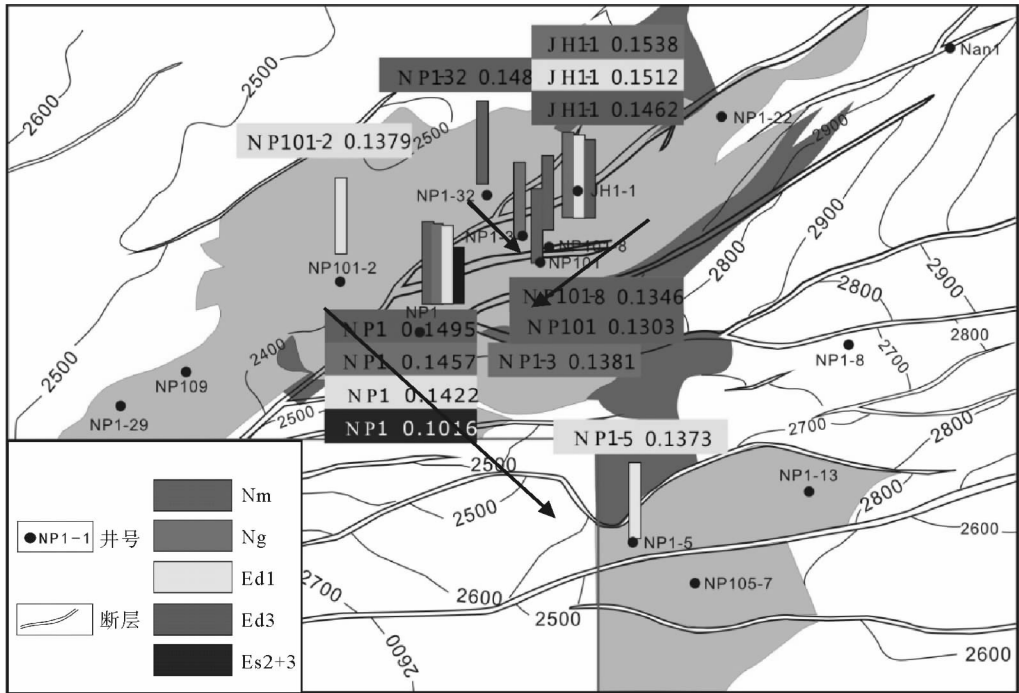


图 3 南堡 1 号构造带原油和油砂沥青中藿烷分布特征图

Fig. 3 Distribution features of hopane in crude oil and oil sand of Nanpu No. 1 structural belt

2.3 砂体展布与连通性分析

骨架砂体是具有一定的储集空间和渗透能力的输导层,砂体非均质性造成的垂向中高孔渗层和横向中高孔渗带是流体势能相对较低的部位^[9],连通性使砂体不仅成为储集层同时也成为输导层。南堡凹陷滩海区主要储集层沉积相分布特征表明,古近系以发育各种扇体为主,其中三角洲、扇三角洲和近岸水下扇为最主要的沉积相类型。

骨架砂体的输导能力取决于砂体的百分含量、横向连通性和物性等特征。一般来说厚度大,连通性好,中高孔渗的砂体利于油气运移。根据测井结果统计分析,南堡凹陷除北堡构造深层外,其他地区储集层 Ed1、Es1 和 Es3 的骨架砂体的孔隙度和渗透率平均值分别超过 10% 和 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均大于南堡凹陷储层砂体物性下限值 7% 和 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,说明主要储层骨架砂体物性较好,有利于油气运移。从垂向上分析,南堡凹陷滩海区主要储集层物性较好,优势砂体主要围绕凹陷分布。

为了客观反映南堡凹陷滩海区各层段砂体展布及其连通性,在南堡 1 号构造带选取过重点井的 Ed1 段对比剖面,根据油气在运移过程中产生的地质色层效应,说明油气在砂体中发生了运移,进而判断砂体的横向连通情况。

砂体的连通方式和连通体积决定了砂体之间的配置关系,连通体积越大,配置关系越好,越利于油气运移。从图 4 中可以看出生标 C₂₉ 萘烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 具有明显的分馏特征,因为 $\alpha\beta\beta$ 构型的萘烷在运移过程中要比 $\alpha\alpha\alpha$ 构型快,所以,随着运移距离的增加,原油中 C₂₉ 萘烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 的比值会变小,说明油气发

生了横向和垂向运移。南堡凹陷滩海区沙河街组普遍不发育,但从连井剖面来看,滩海地区1号构造带Ed1段砂体分布较均匀,厚度大,说明砂体横向连通,利于油气大规模运移。

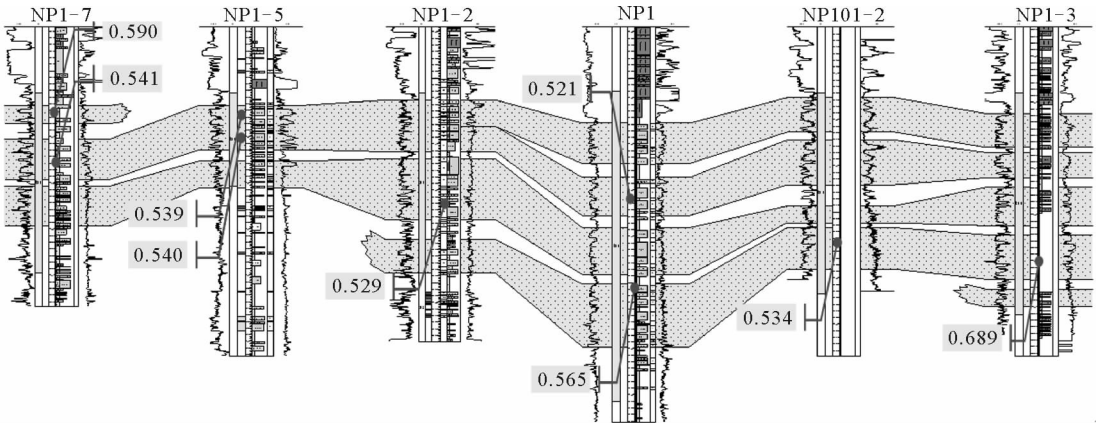


图4 南堡1号构造Ed1段砂体C29留烷 $\alpha\alpha/(\alpha\alpha+\alpha\beta)$ 连井剖面图

Fig. 4 Connected wells' profile of C29 gonane $\alpha\alpha/(\alpha\alpha+\alpha\beta)$ in sand bodies of Ed1 member of Nanpu No. 1 section

3 输导模式分析

控凹断层在凹陷内通常延伸较长,为裂陷期同生断层,活动时期较长。通源断层为裂陷期同生断层或者裂后断层,向上可通达新近系内,向下连接沙河街组源岩,由于活动时间较晚,有能力将下伏的地层生成的油气输导到浅层聚集。多数油气藏都分布在通源断层周围。新构造运动以来,断层活动使油气向浅层大量运移成藏。优势输导体系的分布明显受断层和砂体分布的控制,特别是Ed1段。优势输导体系基本围绕生烃中心的边缘砂体和通源断层发育区分布(图5)。

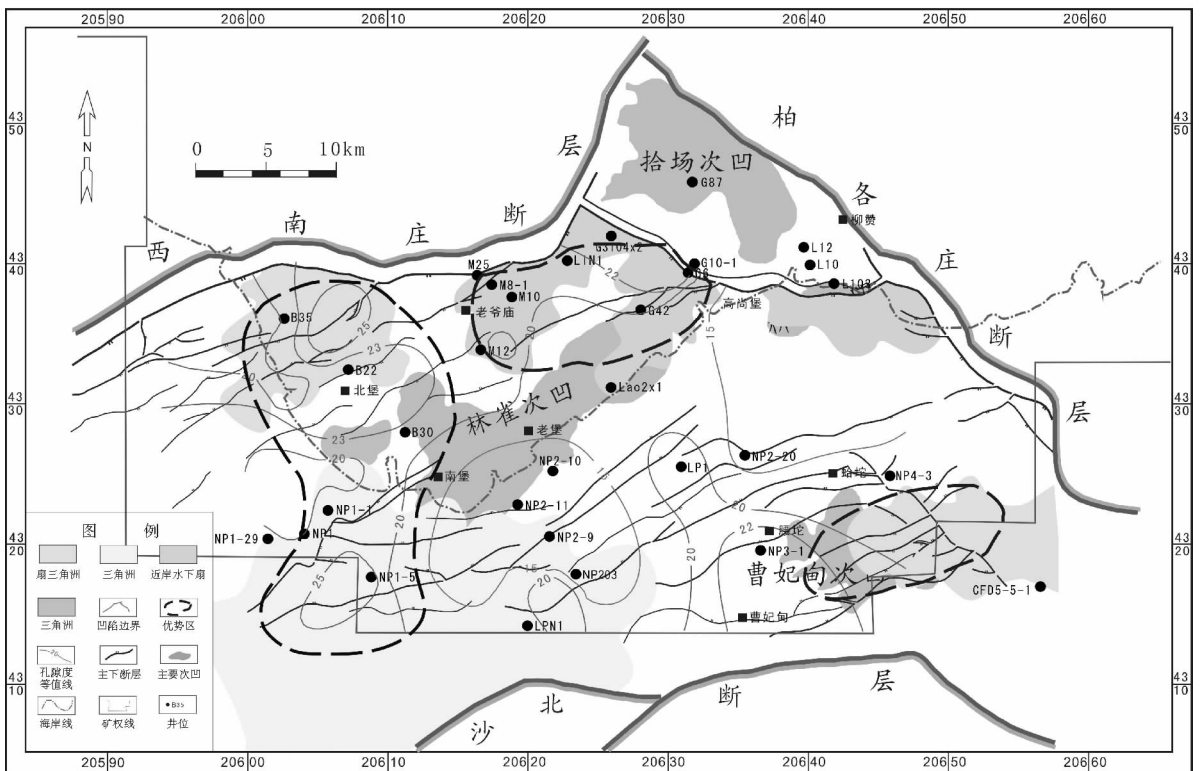


图5 南堡凹陷Ed1段优势输导体系分布图

Fig. 5 Superiority transport system distribution of Ed1 formation in Nanpu Sag

南堡断层作为通源断层在剖面上显示为非常利于油气运移的“y”形样式,通源断层将深层油气运移到中浅层,连通砂体又将这些油气侧向分流运移。平面上南堡断层两侧断裂分支发育,与砂体沟通呈向四周“放射”状的分布样式,加之南堡 1 号构造带上面的玄武岩盖层分布,结合断层剖面组合样式,南堡 1 号构造带油气呈“伞状”立体输导模式(图 6)。这种立体输导使得剖面上通源断裂输导体系和平面上砂体连通体系组成了伞状立体复合输导体系,它控制了南堡凹陷滩海区油气运移的主要特征。

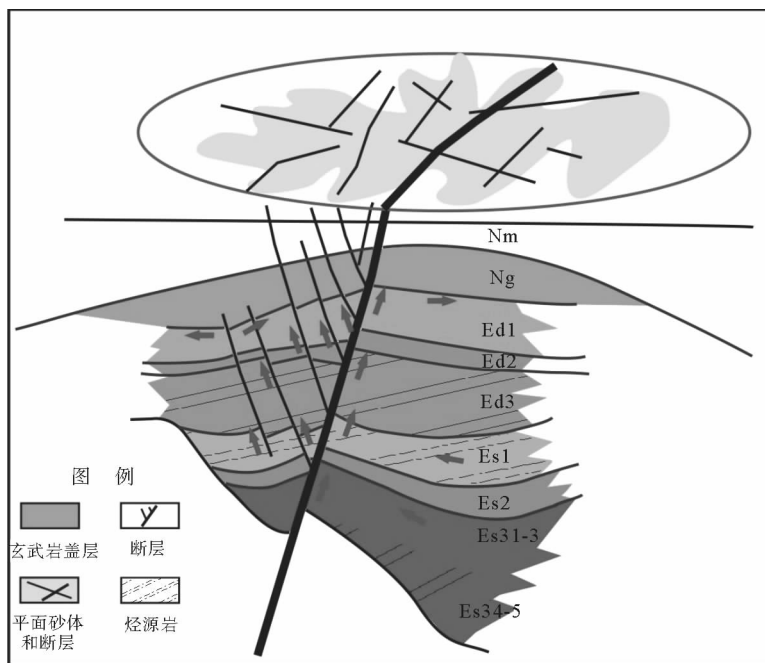


图 6 南堡凹陷滩海区油气输导模式简图

Fig. 6 Diagram of hydrocarbon transmission mode in Nanpu Sag

4 结论

1) 研究区输导要素主要由断

层和砂体组成,不整合面的输导作用主要体现在向深层潜山运聚成藏的过程中。输导体系类型概括为:断层-砂体输导型、砂体连通型和断层-砂体-不整合复合型三类,其中断层-砂体输导型为主要输导类型。

2) 研究区从深层的扇三角洲、冲积扇等扇形沉积体到中浅层的河流沉积体,均是良好的储层发育区,平面上均围绕烃源岩沉积中心分布于盆地边缘地带;测井结果显示,南堡凹陷滩海区储层物性良好,孔隙度和渗透率平均值分别超过 10% 和 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,有利于油气的运移。

3) 通源断层是油气运移的优势通道。油气沿通源断层向上运移至区域盖层然后向两侧砂体中充注。通源断层活动时间基本是在东营早期和明化镇时期,对应于油气大规模充注时间,明化镇晚期多数断层都处于半封闭-开启状态,输导性能良好。

4) 通源断层发育、砂体连通、物性良好以及近源等特点体现了南堡凹陷滩海区优势输导体系的分布特征。南堡断层及其分支断层与骨架砂体在平面上构成“放射形”的分布样式以及剖面上“y”形和反向阶梯形的断裂样式,共同构成了南堡 1 号构造带油气“伞状”的立体输导模式。这种立体输导使得剖面上通源断裂输导体系和平面上砂体连通体系组成了伞状立体复合输导体系,它控制了南堡凹陷滩海区 1 号构造带油气运移的主要特征。

参考文献:

[1] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system: From source to trap[J]. American Association of Petroleum Geologists, 1994, 60: 3-24.

[2] 张照录, 王华, 杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133-135.
Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. Study on passage system of petroliferous basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 133-135.

[3] 谢俊泰. 琼东南盆地天然气运移输导体系及成藏模式[J]. 勘探家, 2000, 5(1): 17-21.
Xie Juntao. Natural gas migration conducting system and reservoir formation pattern in southeast Hainan Basin[J]. Petroleum Explorationist, 2000, 5(1): 17-21.

[4] 付广, 薛永超, 付晓飞. 油气运移输导体系及其对成藏的控制[J]. 新疆石油地质, 2001, 2(1): 24-26.
Fu Guang, Xue Yongchao, Fu Xiaofei. On oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(1): 24-26.

- [5] 赵忠新, 王华, 郭齐军, 等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 527-532.
Zhao Zhongxin, Wang Hua, Guo Qijun, et al. Types of passage system and analysis on evolution of its capabilities in temporal and spatial range[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(6): 527-532.
- [6] 张卫海, 查明, 曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 118-120.
Zhang Weihai, Zha Ming, Qu Jiangxiu. The type and configuration of petroleum transportation system[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(2): 118-120.
- [7] 刘震, 张善文, 赵阳, 等. 东营凹陷南斜坡输导体系发育特征[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 84-86.
Liu Zhen, Zhang Shanwen, Zhao Yang, et al. Development of carrying bed systems in the south slope of Dongying sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 84-86.
- [8] 王有功, 张艳会, 付广, 等. 松辽盆地尚家油田油气输导体系及特征[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2012, 27(1): 17-22.
Wang Yougong, Zhang Yanhui, Fu Guang, et al. Study on hydrocarbon migration pathway sytem of Shangjia Oilfield in Songliao Basin and its characteristics[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2012, 27(1): 17-22.
- [9] 姜慧超, 宋宁, 耿长波. 苏北盆地海安凹陷泰州组输导体系及其控藏作用[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(5): 23-26.
Jiang Huichao, Song Ning, Geng Changbo. Petroleum-conduct system and its control on hydrocarbon accumulation in Cretaceous Taizhou formation of Haian sag, Subei Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(5): 23-26.
- [10] 吴楠, 刘显凤. 油气输导体系研究述评[J]. 断块油气田, 2007, 14(3): 4-6.
Wu Nan, Liu Xianfeng. Review on hydrocarbon conduits system research[J]. Fault-Block Oil & Gas Filed, 2007, 14(3): 4-6.
- [11] 沈朴, 张善文, 林会喜, 等. 油气输导体系研究综述[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(4): 4-8.
Shen Pu, Zhang Shanwen, Lin Huixi, et al. Overview on hydrocarbon migration pathway[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(4): 4-8.
- [12] 卓勤功, 宁方兴, 荣娜. 断陷盆地输导体系类型及控藏机制[J]. 地质评论, 2005, 52(4): 416-422.
Zhuo Qingong, Ning Fangxing, Rong Na. Types of passage systems and reservoir-controlling mechanisms in rift basins[J]. Geological Review, 2005, 51(4): 416-422.
- [13] 郝雪峰. 陆相断陷盆地学积相律与油藏类型序列类比分析[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(5): 1-6.
Hao Xuefeng. Analogy of the sedimentary facies rule & pool type succession in continental rifted basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(5): 1-6.
- [14] 熊伟. 断陷盆地输导体系宏观格架及构成特征: 以东营凹陷为例[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 474-478.
Xiong Wei. Macroscopic framework and constitution characteristics of the transportation system in down faulted basin: An example from Dongying sag, Shengli Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(4): 474-478.
- [15] 王永诗, 郝雪峰. 济阳断陷湖盆输导体系研究与实践[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(4): 394-400.
Wang Yongshi, Hao Xuefeng. Search and practice of the conduit systems in Jiyang depression, Shandong, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2007, 34(4): 394-400.
- [16] Galeazzi J S. Structural and stratigraphic evolution of the western Malvinas Basin, Argentina[J]. American Association of Petroleum Geologists, 1998, 82(4): 596-636.
- [17] 项华, 徐长贵. 渤海海域古近系隐蔽油气藏层序地层学特征[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 11-15.
Xiang Hua, Xu Changgui. Sequence stratigraphic characteristics of subtle oil-gas pool in the palaeogene of Bohai Sea Area [J]. ACTA Petroleum Sinica, 2006, 27(2): 11-15.
- [18] 陈占坤, 吴亚生, 罗晓容, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长 8 段古输导格架恢复[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 718-724.
Chen Zhankun, Wu Yasheng, Luo Xiaorong, et al. Reconstruction of Paleo-Pasage system of Chang 8 Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. ACTA Geologica Sinica, 2006, 80(5): 718-724.
- [19] 陈欢庆, 朱筱敏, 张琴, 等. 输导体系研究进展[J]. 地质评论, 2009, 55(2): 269-276.
Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Zhang Qin, et al. Advances in pathway system research[J]. Geological Review, 2009, 55(2): 269-276.
- [20] 曾溅辉, 王洪玉. 输导层和岩性圈闭中石油运移和聚集模拟实验研究[J]. 地质科学: 中国地质大学学报, 1999, 24(2): 193-196.
Zeng Jianhui, Wang Hongyu. An experimental study of petroleum migration and accumulation in carrier bed and lithological

- trap[J]. Earth science; Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(2): 193-196.
- [21] 曾减辉, 王洪玉. 层间非均质砂层石油运移和聚集模拟实验[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 108-111.
Zeng Jianhui, Wang Hongyu. Experimental study on oil migration and accumulation in the heterogeneous sand beds of different porosity and permeability[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2000, 24(4): 108-111.
- [22] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 83-92.
- [23] 王震亮. 盆地流体动力学及油气运移研究进展[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 99-109.
Wang Zhenliang. Developments in the fluid dynamics and hydrocarbon migration of sedimentary basins[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2): 99-109.
- [24] 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地质学前缘, 2000, 7(3): 11-21.
Hao Fang, Zou Huayao, Jiang Jianqun. Dynamics of petroleum accumulation and its advances[J]. Earth Science Frontiers; China University of Geosciences, Beijing, 2000, 7(3): 11-21.
- [25] 郝芳, 邹华耀, 王敏芳, 等. 油气成藏机理研究进展和前沿研究领域[J]. 地质科技情报, 2002, 21(4): 8-14.
Hao Fang, Zou Huayao, Wang Minfang, et al. Research advances and frontier areas of mechanisms of petroleum accumulation[J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(4): 8-14.
- [26] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 51-58.
- [27] 张枝焕, 杨永才, 李伟. 油藏地球化学原理及其在油气勘探与油藏评价中的应用[J]. 海相油气地质, 2006, 11(4): 39-47.
Zhang Zhihuan, Yang Yongcai, Li Wei. The principles of reservoir geochemistry and its applications in petroleum exploration and reservoir appraisal[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(4): 39-47.
- [28] 柳广弟, 吴孔有, 查明. 断裂带作为油气散失通道的输导能力[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(1): 16-22.
Liu Guangdi, Wu Kongyou, Zha Ming. Draining capacity of fault zone as a pathway of oil and gas leakage[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2002, 26(1): 16-22.
- [29] Sorenson R P. A dynamic model for the Permian Panhandle and Hugoton fields, western Anadarko Basin[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(7): 921-938.
- [30] Wilkins S J, Naruk S J. Quantitative analysis of slip-induced dilation with application to fault seal[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(1): 97-113.
- [31] 姜建群, 胡建武. 含油气系统中流体输导体系的研究[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 193-196.
Jiang Jianqun, Hu Jianwu. On fluid conducting system in petroleum system[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 193-196.
- [32] 张功成, 朱伟林, 邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 14-18.
Zhang Gongcheng, Zhu Weilin, Shao Lei. Pull-apart tectonic and hydrocarbon prospecting in Bohai Bay and its nearby area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 14-18.
- [33] 许浚远, 张凌云. 西北太平洋边缘新生代盆地成因(中): 连锁右行拉分裂谷系统[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 185-190.
Xu Junyuan, Zhang Lingyun. Genesis of cenozoic basins in Northwest Pacific margin(2): Linked dextral pull-apart basin system[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 185-190.
- [34] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7.
Gong Zaisheng, Wang Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 1-7.
- [35] 李运振, 刘震, 赵阳, 等. 济阳拗陷断陷湖盆类型与输导体系发育特征的关系分析[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(4): 47-52.
Li Yunzhen, Liu Zhen, Zhao Yang et al. Relationship between the characteristics of passage systems and the types of faulted lake basins in Jiyang Depression[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22(4): 47-52.
- [36] 王家豪, 王华, 王根发. 南堡凹陷滩海区厚层泥岩的封盖作用及其与油气的关系[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 418-423.
Wang Jiahao, Wang Hua, Wang Genfa. Capping of thick mudstones and its relationship with oil and gas in the Nanpu Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(4): 418-423.