沧东凹陷孔二段斜坡演化及控砂控藏机制

时筱淞　林　伶　李洪香　刘子藏　景海权
中国石油大港油田公司，　天津　300280

摘　要：沧东凹陷为一以构造及沉积特征为背景的叠加改造型湖盆，源储匹配关系复杂。受边界断裂活动及差异演化控制，形成了“两类三坡一带”的构造格局，即南部宽缓的大型继承性斜坡，北部对倾掀斜形成的两翼反转型斜坡及中央背斜带。受凹陷周缘四大盆外物源体系供给影响，发育 10 个规模不等的三角洲朵叶体，朵叶体沿湖盆边缘环带状分布。以岩性地层油气藏勘探思路为指导，针对孔二段斜坡演化特征及控砂控藏机制进行细致研究。根据研究成果共部署实施探井 36 口，工业油流井 29 口，探井成功率 80 %。在三个斜坡区岩性油气藏及湖盆区致密油勘探取得突破，形成了斜坡区岩性油气藏控砂控藏地质认识，完善了断陷湖盆油气成藏理论，对富油气凹陷勘探工作具有参考意义。

关键词：沧东凹陷；三角洲朵叶体；岩性油藏；致密油
DOI：10. 3969 /j. issn. 1006 - 5539. 2018. 03. 013

Sand-Gathering and Reservoir-Controlling Mechanisms of Ek2 Slope in Cangdong Sag

Shi Xiaosong, Lin Ling, Li Hongxiang, Liu Zicang, Jing Haiquan
PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300280, China

Abstract: The Cangdong sag is a superimposed basin. With the structural and sedimentary characteristics as the background, it has complex source reservoir matching relationship. Controlled by boundary faults and tectonic evolution of the difference in Cangdong sag, it formed the main geological features of“two types, three slopes and one tectonic belt”such as the large inherited slope in the south, central fold belt and two sides of the inversion of the slope in the north. Supplied by the four directions of provenance around the Cangdong sag, the distribution of ten different scale delta lobes are just around the lake. It is difficult to further deepen exploration. Guided by the idea of lithologic stratigraphic reservoir exploration, detailed study has been performed based on the evolution characteristics of Ek2 slope and the mechanism of sand control and reservoir control. According to the research results, 36 exploration wells were deployed and 29 wells were obtained. The success rate of exploratory wells was 80 %. Based on this geological understanding, great breakthroughs have been made in the exploration of lithologic oil reservoirs and tight oil deposits in the three slopes. On this basis, sand-control and reservoir-control theory of lithologic reservoir was established, and petroleum accumulation theory of fault basin was perfected. This study has an important guiding significance for oil exploration of the sags rich in oil and gas.

收稿日期：2017 - 12 - 25
基金项目：国家重大专项“渤海湾本地北部油气富集规律与增储领域研究”（2011 ZX 05006 - 005）
作者简介：时筱淞（1986 - ），男，吉林河口人，工程师，硕士，主要从事油气勘探综合地质研究工作。

Keywords: The Cangdong sag; Delta lobes; Lithological reservoirs; Tight oil

0 前言

沧东凹陷历经 50 多年的勘探开发，针对构造圈闭，主体构造带探明程度较高，找寻构造油气藏难以满足精细勘探的需要，勘探思路亟待转变。近年，随着对岩性油气藏成藏认识的不断深化，找寻岩性油气藏成为目前精细勘探的主攻方向[1]。

沧东凹陷孔店组二段（简称“孔二段”Ek_2）作为近年寻求岩性油气藏勘探的重点层系，通过钻探实施 Kn 6、Kn 17、Kn 26 X 1 等井获得了很好的勘探突破，揭示了较好的岩性油气藏特征。证实沧东凹陷孔二段斜坡区具有油气成藏条件及岩性勘探潜力。但沧东凹陷与北邻的歧口凹陷不同，沧东凹陷整体为一狭长状展布凹陷[2]，内部断裂发育并复杂化，沉积岩性多样、横向相变快速且控砂控藏机理复杂，如何发现规模油气藏，进一步深化与精细勘探存在难题，须针对沧东凹陷孔二段斜坡演化及其控砂控藏机制进行系统研究。

1 构造演化特征

沧东凹陷为一狭长凹陷，东西受沧县断裂与徐西断裂夹持[3]。受边界断裂活动差异演化控制[4]，孔二段斜坡演化在地质历史时期经历了以下四个阶段：

1）早期孔二段沉积时为一坳陷型碟状湖盆区，边界及内部断裂不发育，地层横向向源减薄，接受凹陷周缘四大方向物源供给，形成孔二段斜坡砂体环带。

2）孔－段枣Ⅳ～枣Ⅴ油组沉积时期湖盆整体抬升，主干断裂开始活动，并控制晚期地层展布及沉积体系发育，为后期成藏提供构造背景，但仍以坳陷特征为主导。

3）孔－段枣0～枣Ⅲ油组沉积时期至东营沉积时期为断陷阶段，随着边界断层活动性逐渐增强，内部断裂复杂化。孔二段地层受断裂活动影响显现出南北分段的构造格局，南皮斜坡继承性发育，孔二段形成低角度斜坡特征，北部边界断裂活动强烈，中部孔店构造带作为调节区形成规模较大的张性断裂，两翼地层对倾掀斜，形成陡斜坡，断裂活动性在沙河街组达到最大，并广泛沉积，孔二段斜坡进一步演化形成“两类三坡一带”的构造格局。

4）新近纪后，为热沉降时期，断裂活动性减弱，断裂不发育，构造活动趋于稳定。

经历地质历史时期构造演化，沧东凹陷孔二段形成了南北分段、“两类三坡一带”的现今构造格局（图 1）：南段为宽缓大型继承性斜坡——南皮斜坡，受走滑断裂分隔，进一步划分为东、西两带；北段以孔店构造带为界，两翼对倾掀斜形成反转型陡斜坡——孔东、孔西斜坡；孔店构造带主体自北向南延伸至孔东断层，孔东断层下降盘形成王官屯断鼻主体，孔东断层上升盘孔店构造带主体与西南部形成的舍女寺断鼻，两者之间为构造调节带。

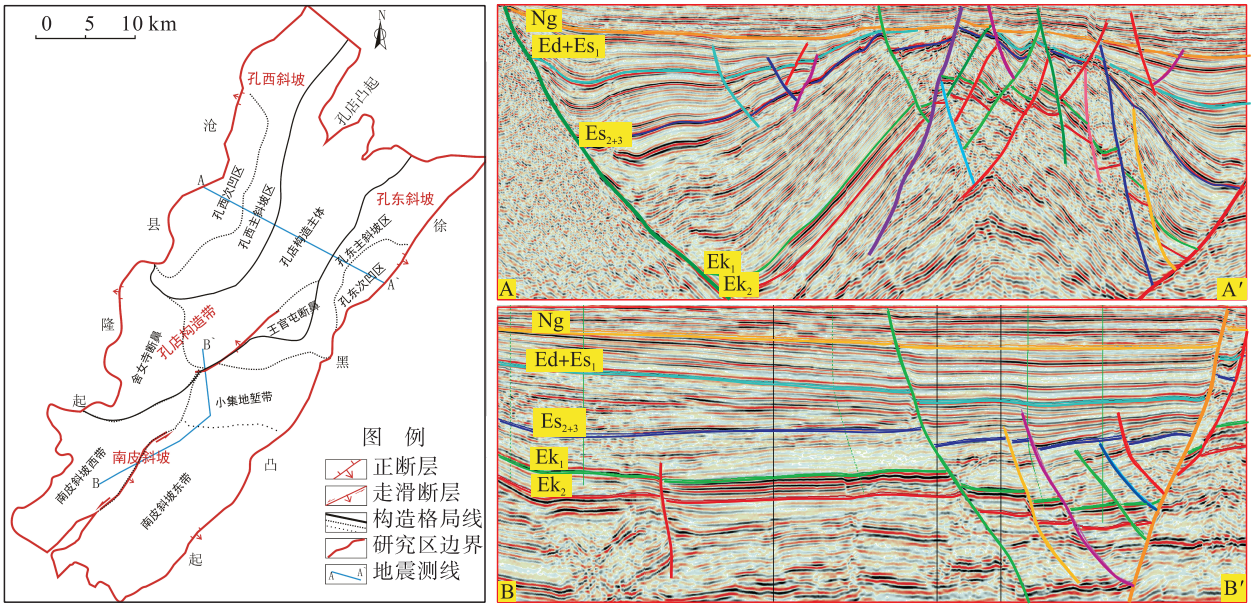

图 1 沧东凹陷孔二段构造格局划分简图及结构构造特征地震剖面

2 沉积与储层

2.1 沉积背景

沧东凹陷孔二段总体为亚热带潮湿气候下的封闭湖盆沉积环境，为孔店组最大湖泛期沉积，属欠补偿深凹。平面上发育了一套连片分布富含有机质的优质烃源岩，主要为黑色页岩、深灰色泥岩和油页岩[5]，面积超过 1 000 km^2，累计厚度均在 50 m 以上，最高达 400 m，

埋深适中，既是优质的烃源岩，也是稳定的区域盖层。受周缘沧县隆起、孔店凸起、东光凸起、徐黑凸起四大盆外物源体系影响，盆内发育 10 个规模不等的三角洲朵叶体，即：薛官屯、沧县、舍女寺、叶三拨、乌马营、灯明寺、集北头、王官屯、望海寺及孔店三角洲（图 2）[6-8]。南部地貌相对平缓，砂体展布范围广，延伸远；北部砂体展布相对局限，以短轴扇体为主。10 个三角洲朵叶体沿湖盆边缘环带状分布，外环为三角洲前缘常规砂岩发育带；内环为低斜坡及湖盆中心细粒沉积岩发育带；中环为两者交互相带。

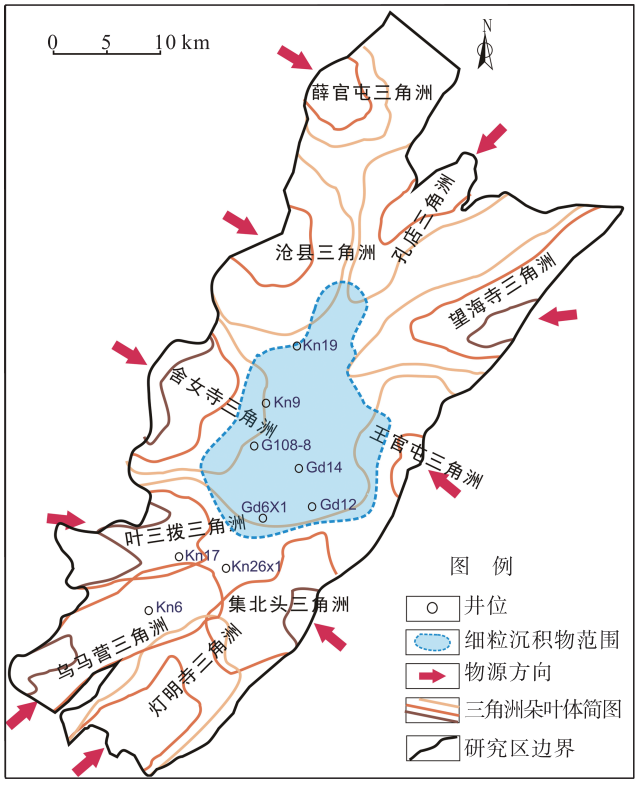

图 2　沧东凹陷孔二段沉积朵叶体示意图

2.2　储层特征

沧东凹陷储层可划分为三类：常规砂岩储层、细粒沉积岩储层及两者交互区带。

2.2.1　常规砂岩储层

外环带常规砂岩储层主要发育长石砂岩。受后期溶蚀作用影响，次生孔缝发育，孔隙度为 8 % ~15 %，平均 12 %，渗透率为 2.2×10^{-3} μm^{-2} ~ 41.6×10^{-3} μm^{-2}，平均 6.4×10^{-3} μm^{-2}，为中低孔、低渗储层。镜下鉴定石英含量较高，平均达 51 %，颗粒溶蚀作用强，微裂缝较发育，储集空间多为粒间孔、残余孔、铸模孔，储集物性较好。随着斜坡逐渐向半深湖、深湖方向推进，沉积储层岩性粒度逐渐变细，至 Kn 26 X 1 孔二段多为含云质含泥长石细砂 - 粉砂岩，呈现常规砂岩与细粒沉积区交互带，经过渡进入细粒沉积物沉积区。

2.2.2　细粒沉积岩储层

内环带细粒沉积区岩性复杂，发育致密砂岩、白云岩及过渡岩类[9]。致密砂岩多以粒度较细的泥质粉砂岩为主，分选差，粗砂 - 砾呈斑状分布；白云岩类主要以泥晶、粉晶白云岩为主，发育晶间孔、溶蚀孔及微裂缝，油气易储存于层理缝、微裂缝中，此外，对于微晶白云岩，油质沥青易于充填晶间空隙并侵染晶体，为细粒沉积区油气成藏提供场所[10-12]；过渡岩类主要为含泥砂质云岩、含白云岩的泥质粉砂岩等，成分多样，无突出的优势矿物，裂缝发育。

3　控砂机制及成藏模式

3.1　斜坡区控砂机制

以构造及沉积为背景，建立斜坡控砂机制，解决了斜坡带岩性圈闭形成及预测这一技术难题。

3.1.1　继承型斜坡控砂机制

继承性斜坡为砂体展布提供了较为稳定的构造背景。孔二段时期来自东光凸起的物源碎屑沿宽缓斜坡自高部位向低部位顺斜坡方向供砂，砂体在低角度斜坡通过侵蚀沟槽区向湖盆中心方向输送并广泛沉积，砂体厚且物性好。受单一坡折带[13]及凹槽影响，砂体经过坡折带时可容纳空间变化，碎屑物受顺向惯性影响快速卸载，于紧邻坡折带低部位砂体富集[14]。故南段继承性斜坡为南高北低的低角度缓坡，控砂机制表现为凸起顺向供砂、侵蚀沟槽输砂、单一坡折及凹槽控砂、斜坡中高部位富砂（图 3）。

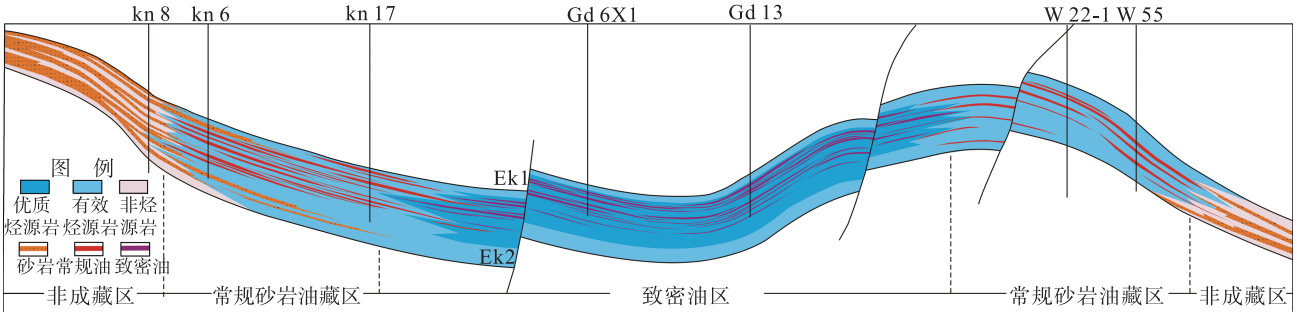

图 3　继承斜坡控砂及控藏模式

3.1.2 反转型斜坡控砂机制

孔东、孔西斜坡受沉积及构造反转双重控制，砂体展布与南段继承性斜坡有较大差异。北段受沧东凹陷东西向窄型限制，碎屑物沉积输送范围局限，横向变化快，碎屑物向湖盆中心方向快速相变，岩性变化剧烈。随着斜坡构造演化阶段的逐次进行，近物源方向厚砂体区反转形成现今的低斜坡区，远物源方向富泥及薄砂带形成现今的中高斜坡区，因相变较快，砂体向上倾方向尖灭[15]。故北段反转型斜坡控砂机制表现为斜坡低部位富砂、中高部位富泥、砂体上倾尖灭为泥岩的特征（图4）。

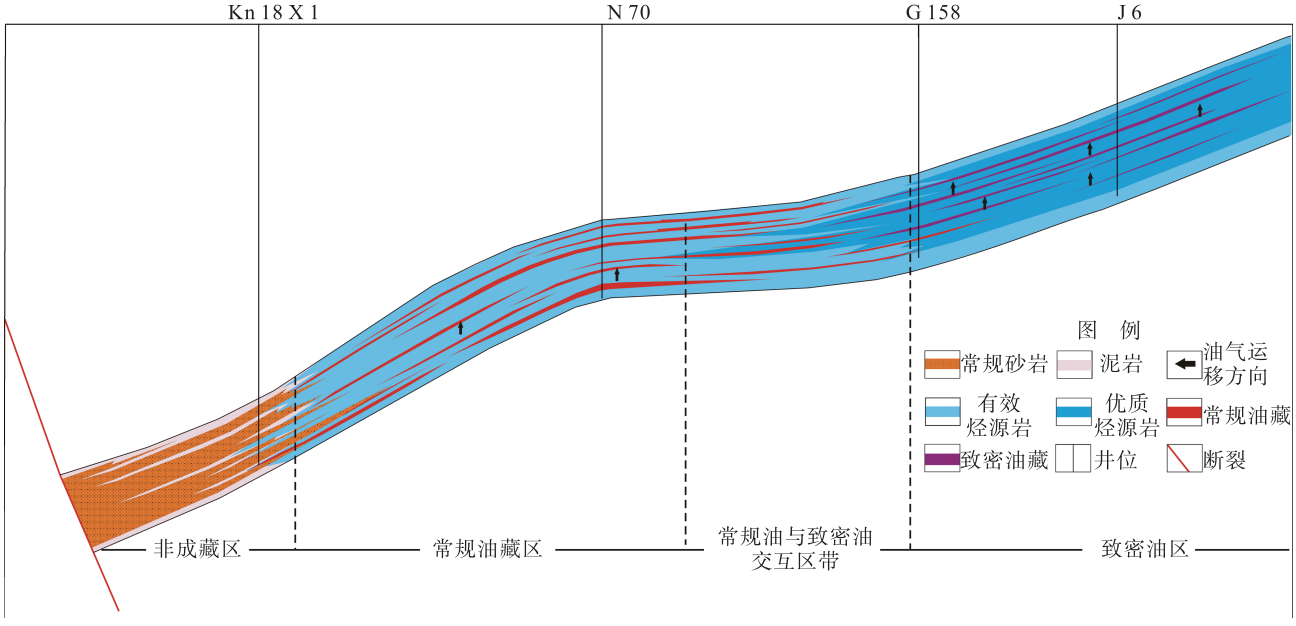

图4 反转斜坡控砂及控藏模式

3.2 斜坡区成藏模式

沧东凹陷孔二段有效烃源岩分布范围广，优质烃源岩发育，总厚度最大达400 m，生烃强度大，形成了 Ek_2^1 下部、Ek_2^2、Ek_2^3 上部多个生烃层段。孔二段有机碳含量平均3.84 %，有效范围内最高达12.92 %，镜煤反射率 *Ro* 多大于0.65 %，最大高达1.28 %，为沧东凹陷主力生烃层段，具有较大的勘探潜力。湖盆主凹区岩性多为泥岩、云质泥岩、白云岩及油页岩，主凹区边部多为粉砂岩，泥质粉砂，油气于主凹区形成致密油气[16-18]。依据油气初次运移及渗流力学理论[19-20]，油气初次运移为源岩向储集岩运聚，以油气分子聚集体，如液滴、气泡或者连续流方式进行运移，运移动力多以毛管压力为主。孔二段内部具备自生自储条件，油气向自生储层进行充注，形成“源储一体，叠加连片”的成藏特征。在浮力及压实作用影响下，油气不断向主凹边部运聚，主凹区形成叠加连片致密油藏，主凹边部形成致密油与常规油藏交互带，斜坡常规砂岩储层形成常规油藏。

综上所述，沧东凹陷孔二段斜坡区形成两种油气运聚模式，一是近源垂向运聚模式[21-25]，以小集地堑带为例，烃源岩排烃后，油气垂向运聚进入孔二段富集成藏；此外上覆枣V油组与孔二段继承性斜坡紧密接触，油气向枣V油组底部大面积充注，形成构造背景下的岩性油气藏，后期构造演化断裂开启，油气沿断面向枣V油组中上部和枣IV油组近源距垂向充注，形成构造－岩性、构造油气藏。二是源岩内部侧向运聚模式，以南皮斜坡为例，随着烃源岩排烃阶段的进行，由致密相小孔隙向过渡岩相大孔隙、常规砂岩大孔隙运移，并由低部位向高部位富集成藏，形成斜坡区岩性油气藏。

4 结论

1）沧东凹陷孔二段为亚热带潮湿气候下的封闭湖盆沉积环境，受盆外四大物源体系影响，共发育10个三角洲朵叶体，朵叶体沿湖呈环带状展布，外环为三角洲前缘常规砂岩发育带，内环为细粒沉积岩发育带，中环为两者交互相带。

2）沧东凹陷孔二段“两类三坡一带”构造格局与多物源环湖沉积匹配。以构造和沉积为背景，建立斜坡控砂控藏机制：继承性斜坡控砂机制表现为顺向供砂、侵蚀沟槽输砂、单一坡折及凹槽控砂、斜坡中高部位富砂的特征；反转型斜坡控砂机制表现为斜坡低部位富砂、中高部位富泥、砂体上倾尖灭的特征。

3）沧东凹陷孔二段常规油与致密油有序分布、连片聚集满凹含油，形成了近源垂向运聚模式和源岩内部侧向运聚模式两种油气运聚模式。

4）通过对沧东凹陷孔二段斜坡演化及控砂控藏机认识的应用与实施，斜坡区岩性油气藏及湖盆区致密油

勘探均取得突破。部署实施探井 36 口,工业油流井 29 口,探井成功率 80 %。继承性南皮斜坡孔二段油层厚度达 40 ~ 70 m,单井日产油 10 ~ 20 t;反转性斜坡钻探的 GD 17 X 1 井油层厚度近 20 m,日产油高达 37 t;湖盆区致密油有利范围 230 km^2,石油资源量达亿吨。

参考文献:

[1] 周立宏,蒲秀刚,韩文忠,等. 沧东凹陷南皮斜坡孔二段沉积特征与油气勘探[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2015,42(5):539 - 545.
Zhou Lihong, Pu Xiugang, Han Wenzhong, et al. Sedimentary Characteristics and Hydrocarbon Exploration of Ek^2 of Nanpi Slope Area, Cangdong Sag, Huanghua Depression, North China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2015, 42 (5): 539 - 545.

[2] 叶　琳,张俊霞,卢刚臣,等. 黄骅坳陷孔南地区古近纪构造 - 地层格架和幕式演化过程[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2013,38(2):379 - 388.
Ye Lin, Zhang Junxia, Lu Gangchen, et al. Paleogene Structure-Stratigraphic Framework and Multiple Episode Evolution in Kongnan Area, Huanghua Depression [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2013, 38 (2): 379 - 388.

[3] 薛林福,孙　晶,陈长伟,等. 黄骅坳陷孔南地区孔一、孔二段构造沉积演化[J]. 沉积与特提斯地质,2008,28(2):62 - 67.
Xue Linfu, Sun Jing, Cheng Changwei, et al. Tectonic-Sedimentary Evolution of the First and Second Members of the Kongnan Formation in Southern Kongnan, Huanghua Depression [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 28 (2): 62 - 67.

[4] 杨　桥,漆家福,常德双,等. 渤海湾盆地黄骅坳陷南部古近系孔店组沉积时期构造古地理演化[J]. 古地理学报,2009,11(3):306 - 313.
Yang Qiao, Qi Jiafu, Chang Deshuang, et al. Tectonopalaeogeography During the Deposition of Paleogene Kongdian Formation in Kongdian Area, Huanghua Depression of Bohai Bay Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11 (3): 306 - 313.

[5] Tänavsuu-Milkeviciene K, Frederick Sarg J. Evolution of an Organic-Rich Lake Basin-Stratigraphy, Climate and Tectonics: Piceance Creek Basin, Eocene Green River formation [J]. Sedimentology, 2012, 59 (6): 1735 - 1768.

[6] 钟　玮,蒲秀刚,何幼斌,等. 渤海湾盆地黄骅坳陷孔南地区古近系孔店组二段物源分析[J]. 古地理学报,2012,14(6):707 - 718.
Zhong Wei, Pu Xiugang, He Youbin, et al. Provenance of the Member 2 of Paleogene Kongdian Formation in Kongnan Area, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14 (6): 707 - 718.

[7] 刘子藏,周育文,肖玉永,等. 沧东 - 南皮凹陷地层沉积研究新认识[J]. 新疆地质,2009,27(4):387 - 389.
Liu Zicang, Zhou Yuwen, Xiao Yuyong, et al. New Knows About Stratum Deposition Research in Cangdong-Nanpi Sag [J]. Xinjiang Geology, 2009, 27 (4): 387 - 389.

[8] 周立宏,蒲秀刚,张　伟,等. 陆相断陷油气勘探有利目标区三元定量评价方法及应用——以沧东凹陷古近系孔二段为例[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(2):184 - 190.
Zhou Lihong, Pu Xiugang, Zhang Wei, et al. Three Factors Evaluation and Its Application to the Favorable Oil-Gas Exploration Targets in Continental Rift: Taking the Ek^2 of Cangdong Sag for Example [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2013, 40 (2): 184 - 190.

[9] 张　顺,陈世悦,蒲秀刚,等. 断陷湖盆细粒沉积岩岩相类型及储层特征——以东营凹陷沙河街组和沧在凹陷孔店组为例[J]. 中国矿业大学学报,2016,45(3):490 - 502.
Zhang Shun, Chen Shiyue, Pu Xiugang, et al. Lithofacies Types and Reservoir Characteristics of Fine-Grained Sedimentary Rocks in Paleogene, Southern Bohai Fault-Depressed Lacustrine Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45 (3): 490 - 502.

[10] 蒲秀刚,韩文中,周立宏,等. 黄骅坳陷沧东凹陷孔二段高位体系域细粒相区岩性特征及地质意义[J]. 中国石油勘探,2015,20(5):30 - 39.
Pu Xiugang, Han Wenzhong, Zhou Lihong, et al. Lithologic Characteristics and Geological Implication of Fine-Grained Sedimentation in Ek^2 High Stand System Tract of Cangdong Sag, Huanghua Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20 (5): 30 - 39.

[11] 蒲秀刚,周立宏,韩文中,等. 细粒相沉积地质特征与致密油勘探——以渤海湾盆地沧东凹陷孔店组二段为例[J]. 石油勘探与开发,2016,43(1):24 - 33.
Pu Xiugang, Zhou Lihong, Han Wenzhong, et al. Geologic Features of Fine-Grained Facies Sedimentation and Tight Oil Exploration: A Case from the Second Member of Paleogene Kongdian Formation of Cangdong Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43 (1): 24 - 33.

[12] 赵贤正,蒲秀刚,韩文中,等. 细粒沉积岩性识别新方法与储集层甜点分析——以渤海湾盆地沧东店组二段为例

[J]. 石油勘探与开发,2017,44(4):492 - 502.
Zhao Xianzheng, Pu Xiugang, Han Wenzhong, et al. A New Method for Lithology Identification of Fine Grained Deposits and Reservoir Sweet Spot Analysis: A Case Study of Kong 2 Member in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, China [J]. Petroleum Exploration & Development, 2017, 44 (4): 492 - 502.

[13] 周立宏,蒲秀刚,周建生,等. 黄骅坳陷歧口凹陷古近系坡折体系聚砂控藏机制分析[J]. 石油实验地质,2011,33(4):371 - 377.
Zhou Lihong, Pu Xiugang, Zhou Jiansheng, et al. Sand-Gathering and Reservoir-Controlling Mechanisms of Paleogene Slope-Break System in Qikou Sag, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33 (4): 371 - 377.

[14] 颜照坤,李 勇,李奋生,等. 沧东凹陷孔店期伸展、走滑作用的沉积响应[J]. 断块油气田,2012,19(2):158 - 162.
Yan Zhaokun, Li Yong, Li Fensheng, et al. Sedimentary Response of Extension and Strike-Slip Role for Cangdong Fault at Kongdian Stage [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012,19 (2): 158 - 162.

[15] 林 伶,刘子藏,官全胜,等. 沧东凹陷孔二段致密油形成条件与勘探潜力[J]. 石油地质与工程,2015,29(6):5 - 9.
Lin Ling, Liu Zicang, Guan Quansheng, et al. Dense Oil Forming Conditions and Exploration Potential of Kong-2 Member in Cangdong Sag [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2015, 29 (6): 5 - 9.

[16] 李宏军,李会慎,曾建宏,等. 南皮斜坡孔二段油气分布规律及主控因素分析[J]. 特种油气藏,2015,22(1):56 - 60.
Li Hongjun, Li Huishen, Zeng Jianhong, et al. Kong 2 Member Hydrocarbon Distribution and Controlling Factors in Nanpi Slope. [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2015, 22 (1): 56 - 60.

[17] 葛 维,李云鹏,董晓伟,等. 沧东凹陷古近系油气成藏条件与富集模式研究[J]. 录井工程,2012,23(3):89 - 97.
Ge Wei, Li Yunpeng, Dong Xiaowei, et al. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Enrichment Mode in Paleogene of Cangdong Sag [J]. Mud Logging Engineering, 2012, 23 (3): 89 - 97.

[18] 徐祖新,张义杰,王居峰,等. 沧东凹陷斜坡带孔二段油气富集规律[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2016,31(1):10 - 15.
Xu Zuxin, Zhang Yijie, Wang Jufeng, et al. Hydrocarbon Accumulation Law of the Second Member of Kongdian Formation in the Slope Zones of Cangdong Sag [J]. Journal of Xi`an Shiyou University: Natural Science Edition, 2016, 31 (1): 10 - 15.

[19] 李传亮,张景廉,杜志敏. 油气初次运移理论新探[J]. 地学前缘,2007,14(4):132 - 141.
Li Chuanliang, Zhang Jinglian, Du Zhimin. New Viewpoints of the Primary Migration of Oil and Gas [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (4): 132 - 141.

[20] 徐 波,杜岳松,杨志博,等. 油气二次运移研究现状及发展趋势[J]. 特种油气藏,2011,18(1):1 - 6.
Xu Bo, Du Yuesong, Yang Zhibo, et al. Current Situation and Development Trend of the Study on Secondary Hydrocarbon Migration [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2011, 18 (1): 1 - 6.

[21] 韩 信,陈宪保,秦培莉,等. 富油气坳陷的形成及控制因素——以黄骅坳陷为例[J]. 海洋地质前沿,2013,29(9):21 - 24.
Han Xin, Chen Xianbao, Qin Peili, et al. The Formation of Hydrocarbon-Rich Depression and Control Factors: Taking the Huanghua Depression as a Case [J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29 (9): 21 - 24.

[22] 陈世悦,龚文磊,张 顺,等. 黄骅坳陷沧东凹陷孔二段泥页岩裂缝发育特征及主控因素分析[J]. 现代地质,2016,30(1):144 - 153.
Chen Shiyue, Gong Wenlei, Zhang Shun, et al. Fracture Characteristics and Main Controlling Factors of Shales of the Second Member of Kongdian Formation in Cangdogn Sag, Huanghua Depression [J]. Geoscience, 2016, 30 (1): 144 - 153.

[23] 张绍辉,王 敏,王秀萍,等. 沧东凹陷孔二段致密油成藏条件研究[J]. 硅谷,2014,7(17):188 - 190.
Zhang Shaohui, Wang Min, Wang Xiuping, et al. Study on Forming Conditions of Tight Oil in Ek^2, Cangdong Sag [J]. Silicon Valley, 2014, 7 (17): 188 - 190.

[24] 国建英. 黄骅坳陷孔南地区生烃机制及资源潜力研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2009.
Guo Jianying. Hydrocarbon Generating Mechanism and Potential in Kongnan Area of Huanghua Depression [D]. Beijing: China University of Mining & Technology (Beijing), 2009.

[25] 贾春明. 黄骅坳陷新近系断裂活动特征及其与油气成藏的关系[D]. 北京:石油大学(北京),2005.
Jia Chunming. The Activity Characteristics of Upper Tertiary Faults System and Its Relation with Petroleum Accumulation in Huanghua Depression [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2005.