

# 南堡油田中浅层油气成藏主控因素研究

万涛

中国石化中原油田物探研究院, 河南 濮阳  
Email: zywantao@163.com

收稿日期: 2021年8月15日; 录用日期: 2021年9月2日; 发布日期: 2021年9月9日

## 摘要

在地震、测井和地质录井等资料分析的基础上, 应用断层活动性和封闭性的定量评价、波阻抗储层反演等方法, 对渤海湾盆地南堡油田中浅层油气成藏主控因素进行了研究。结果表明: 古近系东营组一段、新近系馆陶组和明化镇组是南堡油田中浅层的主要富集层系, 以构造油气藏为主, 总计发育23条油源断层, 油源断层控制中浅层油气藏在平面上的宏观分布。研究区馆陶组局部发育火成岩, 厚值中心达400 m, 火成岩的发育有利于油气垂向和侧向封堵, 火山岩厚度与断距的配置关系是造成油气在纵向上差异分布的主控因素。泥岩涂抹作用和断层面两侧岩性的对置关系对油气保存起重要作用, 形成断层侧向封堵的条件为 $SGR > 40\%$ , 油气在砂岩-泥岩对置或砂岩-火山岩对置的有利圈闭中富集, 波阻抗异常高的储层油气显示情况较好。基于南堡油田中浅层油气成藏要素分析, 指出南堡4号构造带、南堡2号构造带东部和南堡3号构造带是下步有利勘探区。

## 关键词

油源断层, 火成岩, 断层封闭性, 波阻抗储层反演, 南堡油田, 渤海湾盆地

# Research on the Main Controlling Factors of Hydrocarbon Accumulation in Mid-Shallow Layer of Nanpu Oilfield

Tao Wan

Institute of Geophysical Exploration, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang Henan  
Email: zywantao@163.com

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Based on the data of seismic, well logging and geological logging, research on the main controlling factors of hydrocarbon accumulation in mid-shallow layer of Nanpu oilfield were studied by using quantitative evaluation of fault-activity & fault-seal, technologies of wave impedance refutation of reservoir. The results showed that hydrocarbon of Nanpu oilfield in Bohai Bay basin was mainly enriched in the strata of 1<sup>st</sup> Member of Dongying Formation in Paleogene, Guantao Formation and Minghuazhen Formation in Neogene, and structural hydrocarbon reservoir is the main type. Totally 23 oil-source faults are developed, which control the macro distribution of mid-shallow reservoirs in the plane. In the research area, igneous rocks are locally developed in Guantao Formation, and the thickness center reaches 400 m. The developed igneous rock is favor of horizontal and vertical sealing of hydrocarbon. The relationship between volcanic rock thickness and fault spacing was the main control factor that caused the longitudinal differential hydrocarbon distribution. Mud smear and the opposing relationship of lithology on both sides of fault plane play an important role in hydrocarbon preservation, and the condition formed fault-seal was smear gouge ratio which is more than 40%. Hydrocarbon is enriched in the traps with favorable configuration relationship of sand-mud or sand-igneous rock, and the reservoir with abnormally high wave impedance has better hydrocarbon shows. Based on the analysis of the controlling factors of mid-shallow hydrocarbon accumulation in Nanpu oilfield, it was pointed out that No. 4 structural belt, eastern of No. 2 structural belt and No. 3 structural belt were the favorable exploration areas in future.

## Keywords

Source Faults, Igneous Rock, Fault-Seal, Wave Impedance Refutation of Reservoir, Nanpu Oilfield, Bohai Bay Basin

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

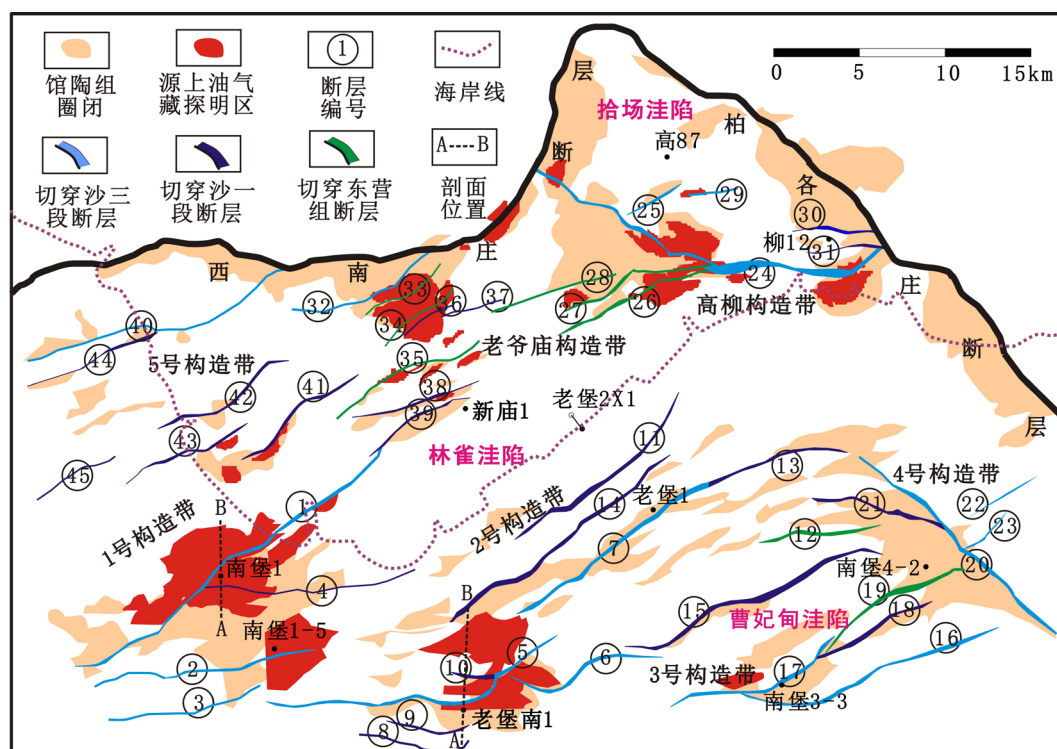
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

南堡凹陷勘探面积 1932 km<sup>2</sup>, 其中陆地面积 570 km<sup>2</sup>, 海域面积 1362 km<sup>2</sup>。南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷东北隅, 为一个北断南超的箕状凹陷[1] [2] [3] [4] [5], 由拾场、林雀、曹妃甸等 3 个生烃洼陷和高柳构造带、老爷庙构造带、南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 3 号、南堡 4 号、南堡 5 号构造带等 7 个二级构造带组成。2004 年, 随着南堡油田(位于海上, 包括南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 3 号、南堡 4 号构造带和林雀、曹妃甸洼陷)的发现, 南堡凹陷迎来了前所未有的油气勘探高峰期[3] [4], 目前南堡 1 号构造带和南堡 2 号构造带西部勘探程度相对较高, 以中浅层油气藏为主, 为该油田的主要产油气区(图 1)。目前研究区关于中浅层油气成藏主控因素和富集规律尚不明确, 导致对南堡 3 号、南堡 4 号等构造带的勘探方向和潜力不清楚, 制约了研究区下步勘探部署。本文在油源断层与油气平面分布关系、火成岩厚度与断距配置关系对油气纵向上差异富集的影响、断层封闭性及断层两侧岩性配置关系对油气保存的控制作用进行了深入研究, 明确了南堡油田中浅层油气成藏主控因素, 以期为研究区下一步油气勘探提供重要理论指导, 同时为渤海湾盆地类似油田的勘探提供借鉴意义。



**Figure 1.** The main source faults and hydrocarbon distribution of mid-shallow reservoir in Nanpu Depression  
**图 1.** 南堡凹陷主要油源断层及中浅层油气藏油气分布

## 2. 油源断层与中浅层油气藏平面分布关系

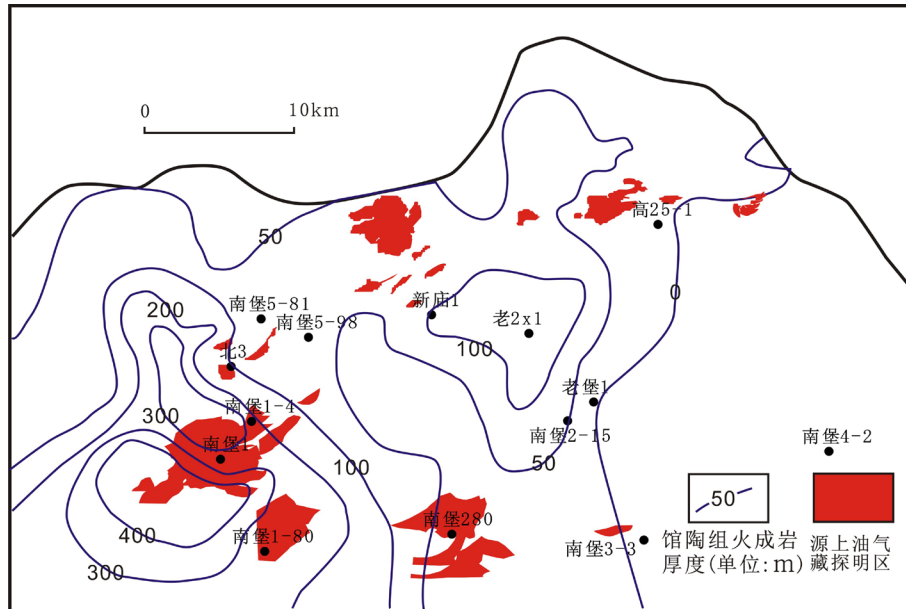
南堡凹陷断层发育，中浅层以构造油气藏为主，圈闭类型主要有断块、断鼻、断背斜等。油源对比结果表明南堡油田油气来源于林雀和曹妃甸洼陷，其主力烃源岩发育层系为沙三段、沙一段和东三段[6][7]。研究区基底发育奥陶系古岩溶储层，古近系发育三角洲和湖泊沉积[8][9][10]，新近系主要发育辫状河相和曲流河相[11][12]。古近系东营组一段、新近系馆陶组和明化镇组下部碎屑岩储层为研究区中浅层主要储层发育层段。明化镇组上部稳定发育的泥岩为研究区主要的浅层区域性盖层，此外，局部地区馆陶组发育火成岩，为一套重要盖层。目前南堡油田勘探上发现的油气主要富集在古近系东营组一段、新近系馆陶组和明化镇组，为源上油气藏。油藏埋深在 2500 m 以浅，为中浅层油气藏。

作为沟通成熟烃源岩与源上油气藏的“桥梁”，油源断层对中浅层油气的富集起主要控制作用[13][14][15]。笔者对南堡凹陷的断层活动性做过定量评价[16]，明确了南堡凹陷除柏各庄和西南庄两条边界断层外，在明化镇期活动，切穿沙三段、沙一段和东营组烃源岩的油源断层分别有 17 条、20 条和 8 条，合计 45 条，在平面上，油源断层控制中浅层油气藏的宏观分布。南堡油田总计发育 23 条油源断层，目前勘探上发现的油气主要富集在 1 号、2 号、4 号、5 号和 10 号等油源断层附近(图 1)。根据勘探程度、油源断层分布和圈闭发育特征，分析认为南堡 4 号构造带、南堡 2 号构造带东部和南堡 3 号构造带中浅层具备成藏条件。

## 3. 火成岩厚度与断距的配置关系对油气纵向上差异富集的影响

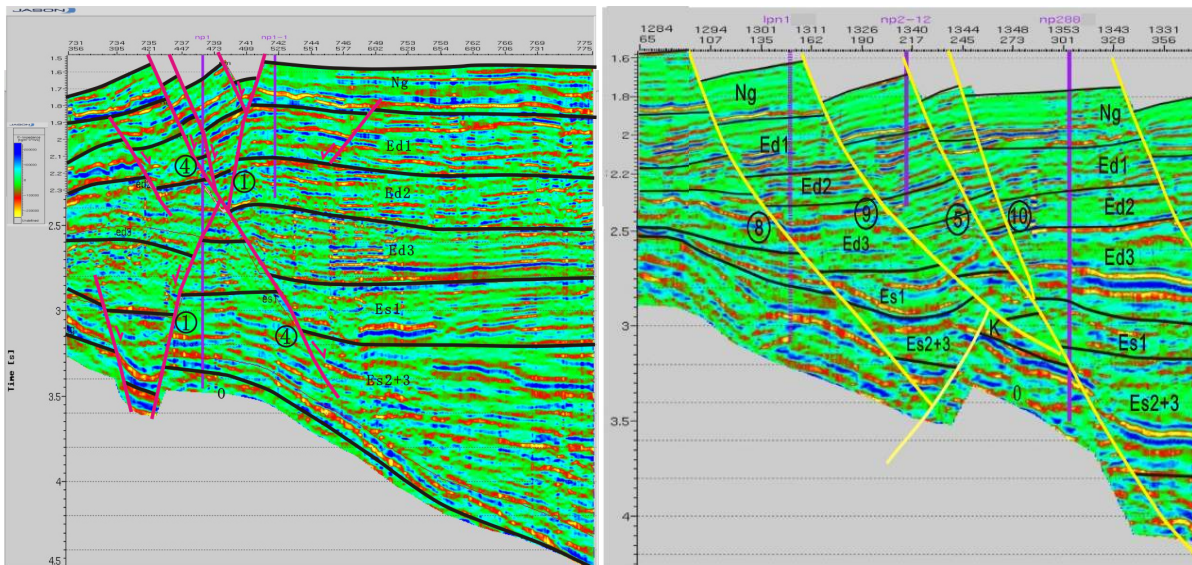
研究区火成岩一般发育在馆陶组中部，岩性以灰黑色玄武岩为主，此外还发育灰色凝灰岩及灰色玄武质泥岩。从电性特征上看，玄武岩表现为低自然伽马，与相邻井段的砂泥岩地层相比，具有较小的声波时差值，但具有较小的密度值，可能与火成岩喷发时残留在内部的气孔有关。凝灰岩和玄武质泥岩具有较高自然伽马，与相邻井段的砂泥岩地层自然伽马值相当。馆陶组火成岩在南堡 1 号构造带最为发育，厚度最

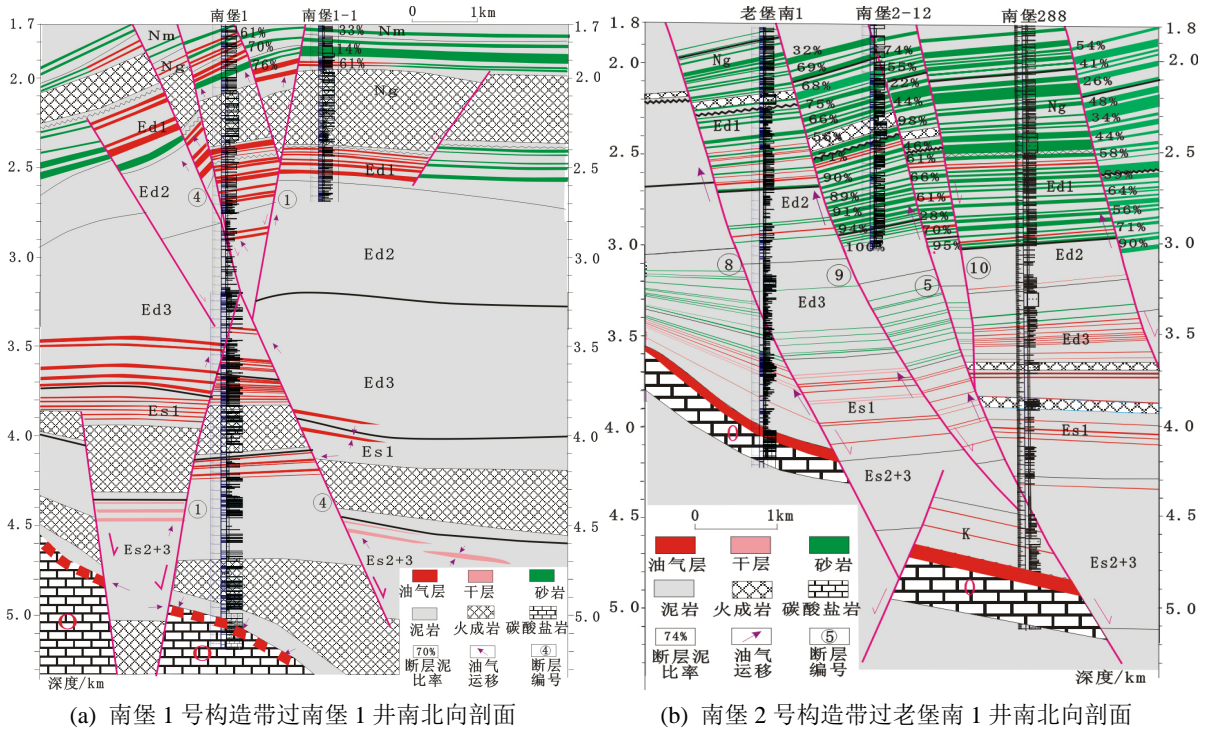
大达 400~500 m，一般在 200 m 以上，该构造带同时也为南堡凹陷浅层油气探明储量最多的构造带。南堡 2 号构造带馆陶组火成岩厚度一般在 50~100 m，南堡 3 号和 4 号构造带馆陶组火成岩不大发育(图 2)。



**Figure 2.** The relationship between volcanic rock thickness and middle-shallow reservoir distribution in Nanpu Depression  
**图 2.** 南堡凹陷馆陶组火成岩厚度与中浅层油气藏分布关系图

根据南堡 1 号构造带南堡 1 井区和南堡 2 号构造带西部老堡南 1 井区油气藏解剖结果(剖面位置见图 1)，在同为潜山披覆背斜构造背景下，对于中浅层油气藏，南堡 1 号构造带油气富集程度明显较南堡 2 号构造带高(图 3)，造成油气在纵向上差异分布的原因主要为：一是馆陶组火成岩的发育情况，1 号构造带火成岩厚度为 200~400 米，其厚度大于断层断距，火成岩的发育有利于油气垂向和侧向封堵，而 2 号构造带火成岩为 50~100 米，主要起侧向封堵的作用。可以看出，火山岩厚度与断距的配置关系是造成油气在纵向上差异分布的主控因素。





**Figure 3.** Wave impedance refutation of reservoir, characteristics of mud smear and reservoir profile of typical district in Nanpu 1 and Nanpu 2 tectonic belts

**图 3.** 南堡 1 号和 2 号构造带波阻抗储层反演、泥岩涂抹特征和油藏剖面综合图

#### 4. 断层封闭性及断层两侧岩性配置关系对油气保存的控制作用

断层封闭性包括垂向封闭性和侧向封闭性，断层的垂向封闭性主要根据断层断距与区域性盖层厚度的关系进行定性 - 定量分析，本文重点分析了馆陶组断层断距与馆陶组火成岩厚度之间的关系。断层侧向封闭性主要考虑断层面物质涂抹、断层面两侧的岩性对置关系及波阻抗异常。

断层面物质涂抹采用“断层泥比率 SGR”的计算方法(Yielding 等, 1997) [17]，即断面中各泥岩层的厚度之和与断距的比值来定量评价断面的侧向封闭性(公式 1)，该方法在国内外得到普遍采用，计算公式如下：

$$SGR = \frac{\sum(\text{泥岩层厚度})}{\text{断距}} \times 100\% \text{ 或 } SGR = \frac{\sum(\text{断层带砂泥岩厚度} \times \text{泥岩所占比率})}{\text{断距}} \times 100\% \quad (1)$$

断层面两侧的岩性对置关系及波阻抗异常主要采用连井油藏剖面和测井约束反演来分析(图 3)。测井曲线反演(采用 Jason 软件)是将测井资料与地震资料紧密结合，二者互相约束，在时间、深度域上通过声波或者密度曲线建立正确的时深关系，充分利用测井资料丰富的高频与低频信息和地震资料的中频信息，提高波阻抗剖面的分辨率和信噪比[18]。其原理如下：

地震记录( $S$ ) = 反射系数( $R$ ) \* 子波( $W$ )，即： $S = F(R, W)$ ，变换为：

$$S = F(\text{Sonic}, \text{Den}, W) = F \left\{ \sum_{i=1}^n [\log(i) * \text{Weight}(i)] \right\} = F \left\{ \sum_{i=1}^n [\text{PCA}(i) * \text{Weight}(i)] \right\} \quad (2)$$

式中： $S$  为地震记录； $R$  为反射系数； $W$  为子波；Sonic 为声波；Den 为密度；PCA 为主分量；Weight 为权重因子。

中浅层地震子波频率为 20~25 赫兹, 分别进行了相对波阻抗(未加低频信息)和绝对波阻抗(加入低频信息)反演(公式 2), 增加反演结果的可靠性。

从断层与砂岩储层的配置关系上看, 南堡 1 号构造带中浅层油气主要在断层泥比率(SGR)大于 40% 的储层中, 沿砂体上倾方向砂泥对置有利于断层侧向封闭, 如 1 号断层在南堡 1-1 井区附近馆陶组顶部断层泥比率为 14%~33%时, 油气显示为水层, 在断层泥比率为 61%时为油层。南堡 2 号构造带中浅层砂体发育, 断层面两侧砂体对置关系相对较差, 砂岩与砂岩对置时为水层, 油气主要富集在断层泥比率大于 40%, 砂岩与泥岩或者火成岩对置的有利圈闭中。从测井约束反演结果上看(图 3), 中浅层砂岩和火成岩的波阻抗值要高于泥岩, 当砂岩储层中含油气后, 呈现亮点反射特征, 有利圈闭中波阻抗异常高的储层油气显示情况较好, 如南堡 1 号构造带中浅层波阻抗异常高, 南堡 1 井、南堡 1-1 井东一段波阻抗异常高的储层均为油层。南堡 2 号构造带南堡 288 井东营组三段下部、沙一段地层中出现明显的波阻抗异常高值区, 油气主要富集在深层。可以看出, 泥岩涂抹作用和断层面两侧砂体的对置关系对油气保存起重要作用, 形成断层侧向封堵的条件为  $SGR > 40%$ , 油气在砂岩-泥岩对置或砂岩-火山岩对置的有利圈闭中富集, 波阻抗异常高的储层油气显示情况较好。

综上所述, 油源断层、火山岩厚度、断层断距、泥岩涂抹和断层两侧岩性对置关系是南堡油田中浅层油气成藏的主控因素。通过对比分析南堡油田各个构造单元中浅层油气成藏要素, 认为南堡 4 号构造带、南堡 2 号构造带东部和南堡 3 号构造带油源断层和中浅层构造圈闭发育, 是下步有利勘探区, 由于馆陶组火成岩欠发育, 油气保存主要依靠断层侧向封堵, 预测其富集程度要低于南堡 1 号和南堡 2 号构造带。

## 5. 结论

1) 古近系东营组、新近系馆陶组和明化镇组是南堡油田中浅层的主要富集层系, 作为沟通成熟烃源岩与源上油气藏的“桥梁”, 油源断层对中浅层构造油气藏的富集起主要控制作用。研究区总计发育 23 条油源断层, 目前勘探上发现的油气主要富集油源断层附近, 油源断层控制中浅层油气藏在平面上的宏观分布。

2) 研究区馆陶组发育火成岩, 厚值中心达 400 m, 火成岩对油气垂向和侧向封堵起重要作用, 火山岩厚度与断距的配置关系是造成南堡 1 号和南堡 2 号构造带油气在纵向上差异分布的主控因素。形成断层侧向封堵的条件为  $SGR > 40%$ , 油气在砂岩-泥岩对置或砂岩-火山岩对置的有利圈闭中富集, 波阻抗异常高的储层油气显示情况较好。

3) 油源断层、火山岩厚度、断层断距、泥岩涂抹和断层两侧岩性对置关系是南堡油田中浅层油气成藏的主控因素。对比分析认为南堡 4 号构造带、南堡 2 号构造带东部和南堡 3 号构造带油源断层和中浅层构造圈闭发育, 是下步有利勘探区, 由于馆陶组火成岩发育程度较差, 中浅层油气保存主要依靠断层侧向封堵, 预测其富集程度要低于南堡 1 号和南堡 2 号构造带西部。

## 基金项目

国家科技重大专项项目“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05006-004)资助。

## 参考文献

- [1] 董月霞, 汪泽成, 郑红菊, 等. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 424-430.
- [2] 周天伟, 周建勋, 董月霞, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷新生代断裂系统形成机制[J]. 中国石油大学学报(自然科学)

- 版), 2009, 33(1): 12-17.
- [3] 黄浩天. 南堡凹陷 2、3 号构造带叠加断层作用及机理[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2019.
- [4] 陈玮常, 郑开轶. 南堡凹陷新生代走滑变形及成因分析——以 1 号和 4 号构造带为例[J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(4): 30-33.
- [5] 陈玮常, 闫晶晶. 南堡凹陷新生代幕式断陷演化特征[J]. 集宁师范学院学报, 2020, 42(3): 115-119.
- [6] 孙晶波. 优势运移通道的控藏作用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2019.
- [7] 李素梅, 姜振学, 董月霞, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷原油成因类型及其分布规律[J]. 现代地质, 2008, 32(6): 817-823.
- [8] 赵彦德, 刘洛夫, 王旭东, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷古近系烃源岩有机相特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2009, 33(5): 23-29.
- [9] 管红, 朱筱敏. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积体系[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 730-736.
- [10] 梁昌国, 林承焰, 曹敬涛, 等. 南堡凹陷高柳构造带新近系馆陶组沉积相研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(2): 76-82.
- [11] 张洪宇, 徐颖新, 李赫, 等. 南堡 1、2 号构造聚砂规律与储层发育特征[J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53(S2): 329-334.
- [12] 杨柳. 南堡凹陷 1、2 号构造东一段储层孔隙结构特征及测井表征方法[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2019.
- [13] 汪泽成, 郑红菊, 徐安娜, 等. 南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 11-16.
- [14] 姜崇. 南堡凹陷中浅层油气输导体系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2019.
- [15] 刘德志, 周江羽, 马良, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂控藏特征研究[J]. 海洋石油, 2009, 29(4): 19-25.
- [16] 万涛, 蒋有录, 董月霞, 等. 南堡凹陷断层活动与油气成藏和富集的关系[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 60-67.
- [17] Yielding, G., Freeman, B. and Needham, D.T. (1997) Quantitative Fault Seal Prediction. *AAPG Bulletin*, **81**, 897-917. <https://doi.org/10.1306/522B498D-1727-11D7-8645000102C1865D>
- [18] 段云卿, 王彦春, 覃天, 等. 储层地震反演在辽河油田大民屯凹陷的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(4): 554-558.