

断层对南堡凹陷潜山油气藏的控制作用

刘畅¹,陈冬霞¹,董月霞²,刘国勇²,张红臣²,任苗颂²,鲍颖俊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. 中国石油 冀东油田分公司,河北 唐山 063004)

摘要:断块型潜山油气藏是渤海湾盆地的一种重要油气藏类型,断层对该类油气藏具有重要的控制作用。为了揭示断层对南堡凹陷断块型潜山油气聚集与保存的作用,利用三维地震、钻井、测井等资料进行断层面形态的刻画、断层封闭性的计算及断层对储层改造作用的分析,重点剖析了南堡凹陷内5条断层对油气的优势运移通道、油气保存、油气的储集空间等方面的控制作用。研究结果表明:①油气的运移方向受断层面形态的控制,汇聚型输导体系有利于油气的运移,且断层面曲率大的部位试油中可获得较高的产能;②成藏期后断层的启闭系数控制着油气的保存及现今的含油气性,潜山顶部的断层启闭系数小于1时,断层纵向封闭好,油气保存条件好,后期含油气性高,大于3时,断层纵向封闭差,油气向浅部运移;③断层改造潜山储层的储集性能主要体现在裂缝的差异性分布,储层的裂缝密度与其距二级断层的距离呈现出较好的负相关性,且在一定程度上储层产能随裂缝密度的增加而增大。

关键词:断层封闭性;断层控藏作用;潜山油气藏;南堡凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Control of faults on hydrocarbon accumulation of buried hill reservoirs in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

Liu Chang¹, Chen Dongxia¹, Dong Yuexia², Liu Guoyong², Zhang Hongchen², Ren Miaosong², Bao Yingjun¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063004, China)

Abstract: Buried hill reservoir of fault-block type is one of the important reservoirs in Bohai Bay Basin and its formation is significantly controlled by faults. In order to study the control of faults on hydrocarbon accumulation and preservation in buried hills of fault-block type, various data including 3D seismic, drilling and logging data were integrated to describe the geometry of fault planes, calculate the sealing capacity of faults, and analyze the control of fault on reservoir modification. The focus of analysis was put on the control of five major faults on the dominant pathways of hydrocarbon migration, preservation of accumulated hydrocarbons and the reservoir space for hydrocarbons. The following understandings were obtained: (1) The migration of hydrocarbons was controlled by the geometry of fault plane, carrier systems of convergence type were favorable for migration of hydrocarbons, and the section with heavy curvature could obtain high yield; (2) The sealing properties of faults after the hydrocarbons accumulation controlled the preservation of accumulated hydrocarbons and current oil-gas potentials. When the fault opening index (*FOI*) of faults on top of buried hills is less than 1, the vertical sealing capacity of the faults is good, the sealing conditions are good and the oil potential is high in later stage. When it is over 3, the vertical sealing capacity is poor and hydrocarbons migrate upwards to the shallow parts. (3) The modification of buried hill reservoirs by faults is reflected by the differential distribution of fractures. There is a negative correlation between the fractures density and the distance to the second-grade faults. To some extent, there is a positive correlation between production capacity and the fracture density.

Key words: sealing of faults, fault-control on reservoirs, buried hill hydrocarbon reservoir, Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

潜山油气藏在渤海湾盆地中占有重要地位,其油气探明储量约占渤海湾石油总探明储量的10%和天然气总探明储量的22%。断块型潜山油气藏是潜山油气藏中的一种重要类型^[1-3],研究表明断层控制着断块型潜山油气藏的成藏^[4-6],表现在以下3点:①断层控制了

潜山储层裂缝的发育进而使得储集条件得到改善^[7-8];②处在活动期的断层主要表现为开启状态,可作为油气向储层垂向和侧向运移的通道^[9-10],断层面的形态影响了油气向潜山储层的充注^[11];③油气充注进入潜山储层后,断层的封闭性影响了潜山油气藏的保存^[12-14]。

收稿日期:2014-05-20;修订日期:2014-10-15。

第一作者简介:刘畅(1989—),男,硕士研究生,油气成藏机理与分布规律。E-mail:changxiangliu@gmail.com。

通讯作者简介:陈冬霞(1974—),女,博士、副教授,油气藏形成与分布。E-mail:Lindachen@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05006-006)。

南堡凹陷为渤海湾盆地的一个次级构造单元,其北部与燕山相连,南部和东部毗邻渤海,凹陷面积为 $1\,932\text{ km}^2$,自北向南分别为陆上的北堡构造、老爷庙构造、高尚堡-柳赞构造;滩海的南堡5号、南堡1号、南堡2号、南堡3号、南堡4号构造。潜山主要分布在滩海的5个构造中。南堡凹陷沉积地层包括寒武系(ϵ)、奥陶系(O)、石炭系(C)至二叠系(P)、侏罗系(J)至白垩系(K)以及古近系沙河街组(E_s)、东营组(E_d)及新近系馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)等^[15]。2004年,老堡南1井奥陶系酸后测试日产油流 700 m^3 ,发现了南堡油田^[16],截止2012年底,南堡潜山共完钻探井18口,其中8口井日产油百吨以上,显示出南堡凹陷潜山巨大的潜力。目前,在对南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素的研究中,认识到油气主要来自沙河街组三段(E_s^3)的烃源岩^[17],油气的主要运移通道是断裂和不整合组成的纵横交错的网状输导体系^[18],储层是控制油气藏的主要因素^[19]。但对断层控藏的研究还不深入,本文立足于前人对南堡凹陷的研究基础,通过分析断层对储层的改造作用、断层对油气运移的影响和断层的封闭性来研究断层对南堡凹陷潜山油气藏成藏的控制作用。

1 断层基本特征

南堡凹陷切穿古生界的断层在全区均有分布(图1),主要分为3级:一级断层包括西南庄断层和柏各庄断层,这两条断层活动时间长,继承性强,断距大,控制了南堡凹陷的形成和发展^[20];二级断层包括南堡

1号断层、南堡2号断层、南堡3号断层、蛤坨断层、南堡5号断层,这五条断层断距大,控制了潜山的形成,其主要参数如表1所示;三级断层数量较多,断距相对较小,将潜山内部切割成更多小的断块。

南堡凹陷古生界的断层,在南堡1号构造走向主要为北东向,在南堡2号构造走向主要为北东东和近东西向,在南堡3号构造走向主要为北北东向,在南堡4号构造走向主要为北西西向和北东向,在南堡5号构造走向主要为北东东向和北西向。南堡1号构造带的断层主要构造样式在浅层为复式“Y”型,在深层有复式“X”型,南堡3号构造带、南堡4号构造带和南堡5号构造带的断层主要构造样式为复式“Y”型,南堡2号构造带的断层主要构造样式是“多米诺式”(图2)^[18,20]。

西南庄断层和柏各庄断层两条一级断层在沙河街期开始活动,二级和三级断层也在同时期开始活动,平均活动速率最大,东营期活动速率减小,馆陶期活动相对静止,到明化镇组沉积时期断层重新活化,活动性增强,达到东营期水平,现今断层活动相对静止^[19-20]。

表1 南堡凹陷潜山二级断层参数

Table1 Parameters of the second-grade faults of the buried hill in the Nanpu Sag

断层名称	所处构造	走向	平均断距/m	延伸长度/km
南堡1号断层	南堡1号构造	EN	400	16.9
南堡2号断层	南堡2号构造	NNE	300	18.1
南堡3号断层	南堡3号构造	NNE	330	15.6
蛤坨断层	南堡4号构造	EN	1 000	13.5
南堡5号断层	南堡5号构造	WE	650	12.0

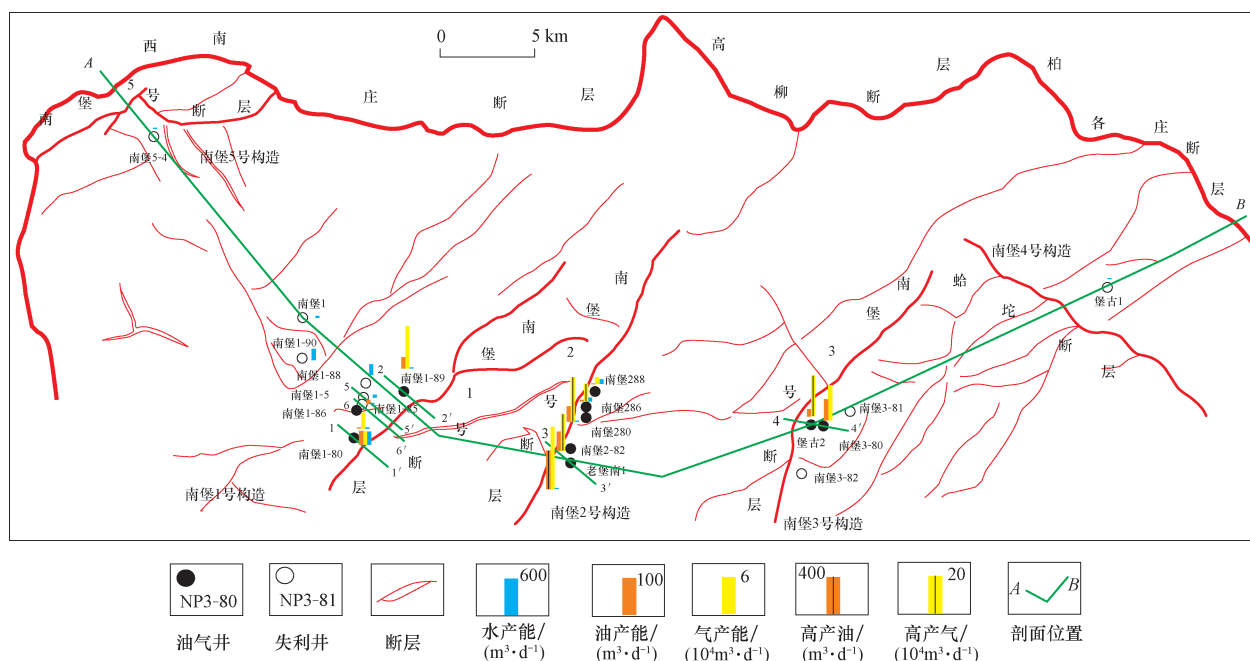


图1 南堡凹陷古生界断层分布及单井产能

Fig. 1 Distributions of the Paleozoic faults and productivity of single wells in the Nanpu Sag

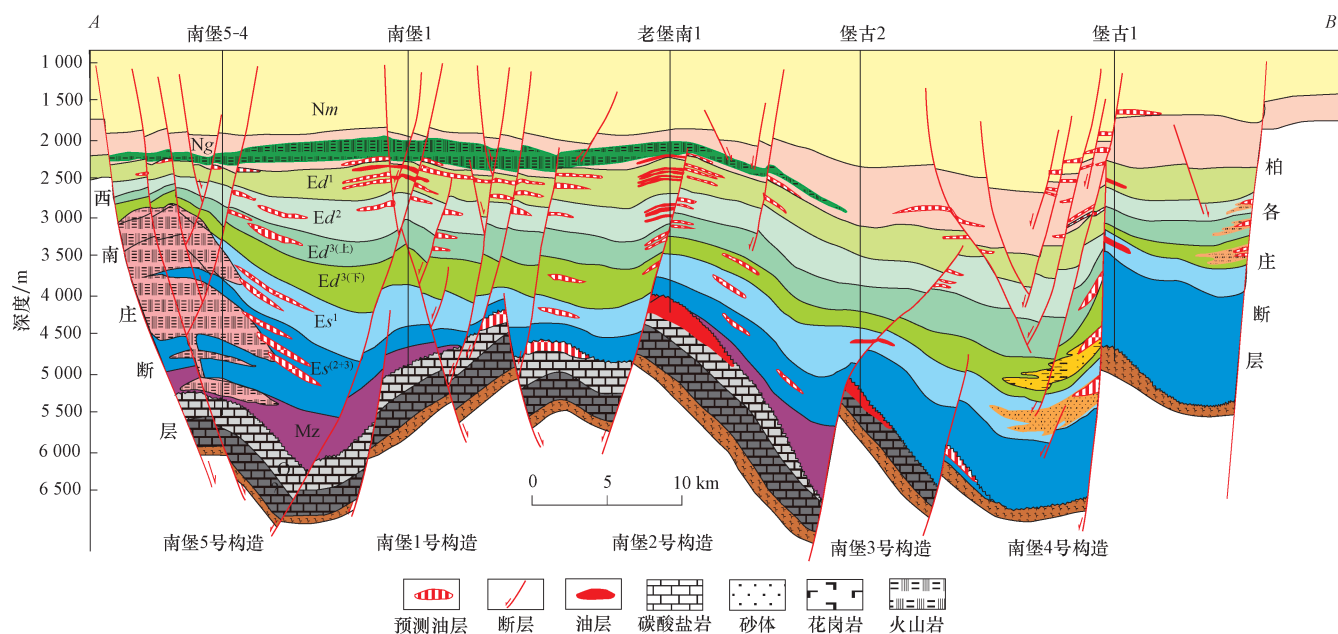


图2 南堡油田地质剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Geologic section of Nanpu oilfield (see Fig. 1 for the section Location)

O. 奥陶系; Mz. 中生界; $Es^{(2-3)}$. 沙河街组二、三段; Es^1 . 沙河街组一段; $Ed^{3(下)}$. 东营组三段下亚段; $Ed^{3(上)}$. 东营组三段上亚段; Ed^2 . 东营组二段; Ed^1 . 东营组一段; Ng. 馆陶组; Nm. 明化镇组

2 油气分布与断层的空间关系

如图1所示,在1号构造中油气主要分布在南堡1号断层附近,在远离南堡1号断层的部位没有油气产出,在南堡2号构造带中,油气主要分布在南堡2号断层附近,在南堡3号构造带中,油气主要分布在南堡3号断层附近,这3条二级断层可以作为主要的控藏断层,对南堡凹陷潜山油气藏的成藏起到了控制作用,本文主要研究这3条二级断层对油气成藏的控制作用。

研究发现,所有试油获得油气流的探井均位于二级断层附近,远离二级断层的探井均无油气产出。但并不是所有位于二级断层附近的井都有油气产出,如1号构造的南堡1-5井和南堡1-85井、4号构造的堡古1井、5号构造的南堡5-4井。

因此与断层距离的远近并不是控制油气分布的唯一因素,还需要考虑断层的输导能力和断层的封闭性。断层输导能力的影响因素包括断层面形态和断层面倾角。在研究区获得油气流的单井中,其一侧断层的倾角从 45° 到 80° 均有分布,表明断层面倾角在研究区不是影响断层输导能力的主要因素,断层的输导能力主要受断层面形态的影响。

3 断层面形态对潜山油气藏的控制

当断层作为油气运移的通道时,由于断层面形态不同,使得油气的运聚程度出现差异。前人的研究表

明,油气沿上凸型断面呈汇聚式运移,油气运移量大;油气沿下凹型断面呈发散式运移,油气运移量小,平直型断面油气均匀的运移,油气运移量中等(图3)^[21]。

在南堡凹陷滩海地区的5个构造中,潜山附近控藏断层的断层面形态变化较大,在同一条断层上会包含汇聚型、均匀型和发散型三种疏导类型(图4),在相应部位的油气显示具有很好的匹配关系。

南堡2号构造的老堡南1井和南堡2-82井、南堡3号构造的堡古2井和南堡3-80井所处部位的断层面曲率大,油气汇聚能力强,在试油中获得较高的油气产能;4号构造的堡古1井和5号构造的南堡5-4井所处部位的断层面表现为发散型,不利于油气聚集,在试油中未获得油气流。南堡1号构造的南堡1-5井、南堡1-85井和南堡1-86井相邻,所处部位的断层面均表现为汇聚型,却只有南堡1-86井在试油中获得油气流,表明靠近断层且所处部位的断层面为汇聚型,仍不能保证油气可以在潜山储层中聚集成藏,还需要考虑断层的封闭性。

4 断层封闭性对潜山油气藏的控制

断层封闭性对断层面附近的油气藏具有重要的影响。在断层闭合时,充注了油气的圈闭才能将油气保存下来,在断层开启时,油气无法聚集成藏,即使前期闭合后期开启油气也会逸散。本文依据罗晓容等人的研究成果^[22],引用一个无量纲数——启闭系数,来表征断层的封闭能力。

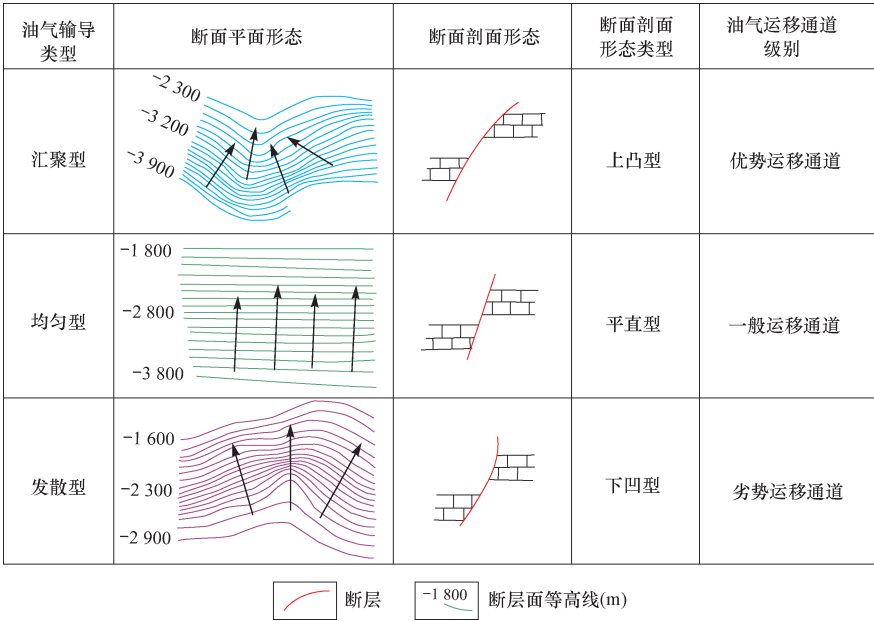


图 3 断层面形态与油气运移关系(据文献[21],修改)

Fig. 3 Relationship between the fault plane geometry and migration of hydrocarbons^[21]

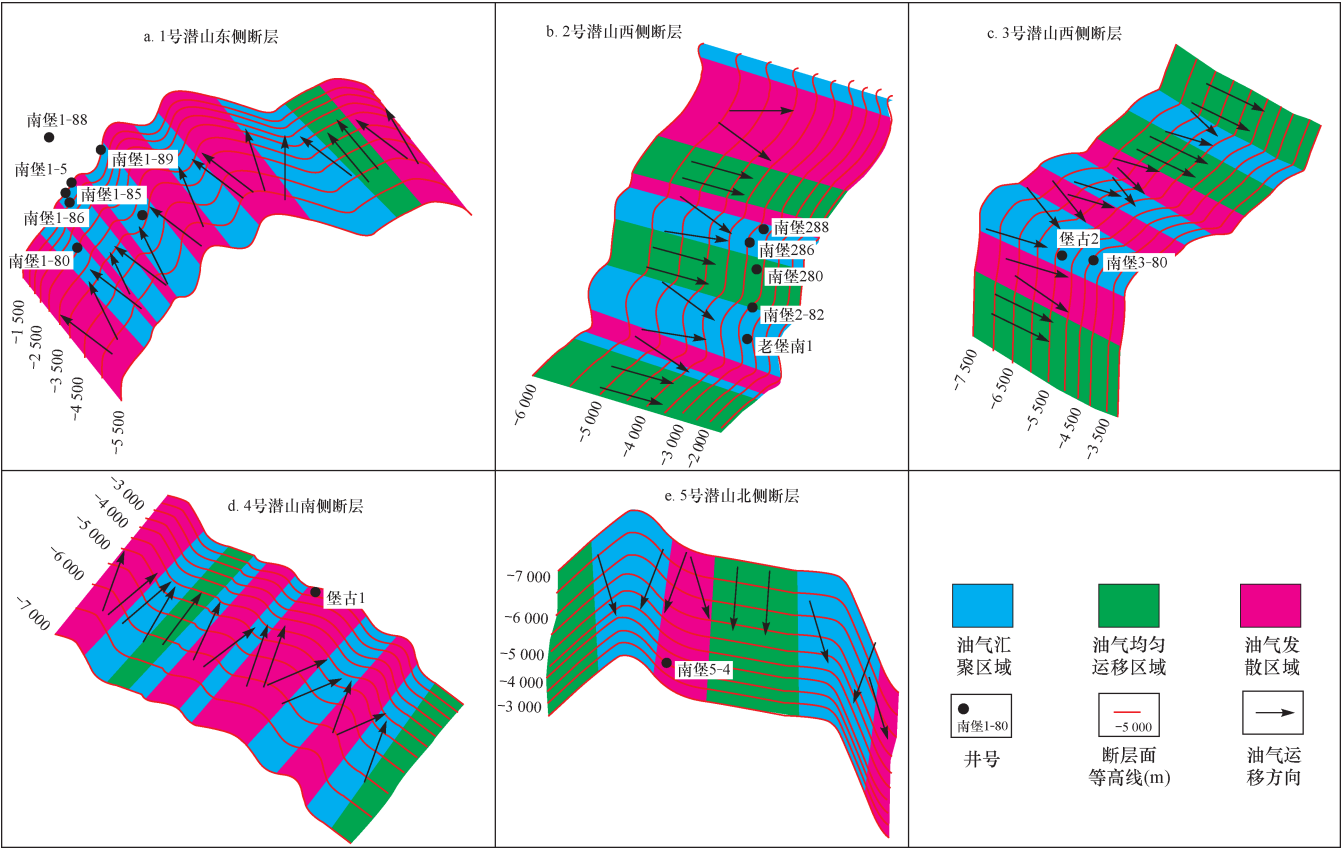


图 4 南堡凹陷潜山断层面形态与输导类型

Fig. 4 Geometry of fault plane and types of carriers in the Nanpu Sag

$$C = \frac{p}{\delta \cdot SGR}$$

(1)

式中: C 为断层启闭系数,无量纲; p 为泥岩流体压力,MPa; δ 为断面所承受的正应力,MPa; SGR 为泥岩涂抹因子,%。

公式(1)中断层启闭系数 C 与断裂两侧泥岩层内的流体压力成正比,与断面所承受的正应力成反比,与断层泥岩涂抹因子成反比。

在南堡凹陷滩海地区潜山部位深层的压力系数约为 1.3^[23],据此可以计算断层一侧泥岩的流体压力。南

堡凹陷各地质历史时期的应力方向存在变化,东营期以NW-SE向压应力为主,最大主压应力方向为NE115°;明化镇期以NNE-SSW向的压应力为主,最大主压应力方向为NNE20°;现今以近E-W向为主,最大主压应力方向为NE85°^[24]。在不同地质历史时期主压应力的大小存在变化,在渐新世沙河街组沉积时期,最大主压应力变化范围为90~140 MPa,平均为115 MPa;东营组沉积时期,最大主压应力变化范围为60~90 MPa;馆陶组沉积时期,最大主压应力变化范围为40~50 MPa,平均46 MPa;明化镇组沉积时期最大主应力变化范围是40~110 MPa,平均为70 MPa^[25]。据以上各个地质历史时期最大主压应力的方向与相应断层走向、倾角的几何关系以及各个地质历史时期最大主压应力的大小可以计算断面所承受的正应力。根据相应断层的断距以及地层中泥岩岩层的厚度可以计算泥岩涂抹因子。

依据罗晓容等人的研究结果,结合研究区实际情况,当断层启闭系数 C 小于1.0时,断层封闭,油气可以在圈闭中聚集成藏,当断层启闭系数 C 大于3.0时,断层开启,油气无法在圈闭中聚集成藏^[25]。该方法适用的前提是断层处于静止阶段,如果断层处在活动时期,即使计算出的结果显示为封闭,该断层也应为开启断层。在成藏关键时刻活动的断裂可以作为油气运移

的输导通道^[26-27],研究区二级断层在明化镇期活动强烈,表现为开启断层,南堡凹陷潜山油气藏的油气充注时期主要为明化镇期,这与断层活动期相吻合,因此判断断层封闭性对潜山油气藏油气保存的影响,主要依据明化镇期以后的计算结果。潜山的溶蚀主要发生在喜马拉雅期之前,所以在油气成藏后断层的封闭性不会受到溶蚀作用的影响。本文主要对南堡1号构造、南堡2号构造和南堡3号构造的七口典型井进行了启闭系数的计算。

4.1 封闭性断层

本文对南堡1-80井、南堡1-89井、老堡南1井、堡古2井和南堡3-80井这这五口试油获得油气产能的探井的附近断层进行启闭系数计算。

在南堡1号构造中,计算南堡1-80井右侧临近断层的启闭系数(图5a),选取的2个计算点中,其现今的启闭系数分别为0.91和0.66(图6)。同样,计算南堡1-89井右侧临近断层的启闭系数(图5b),选取的2个计算点中,其现今的启闭系数分别为0.72和0.83(图6)。

在南堡2号构造中,计算老堡南1井左侧的临近断层的启闭系数(图5c),选取的2个计算点中,其现今的

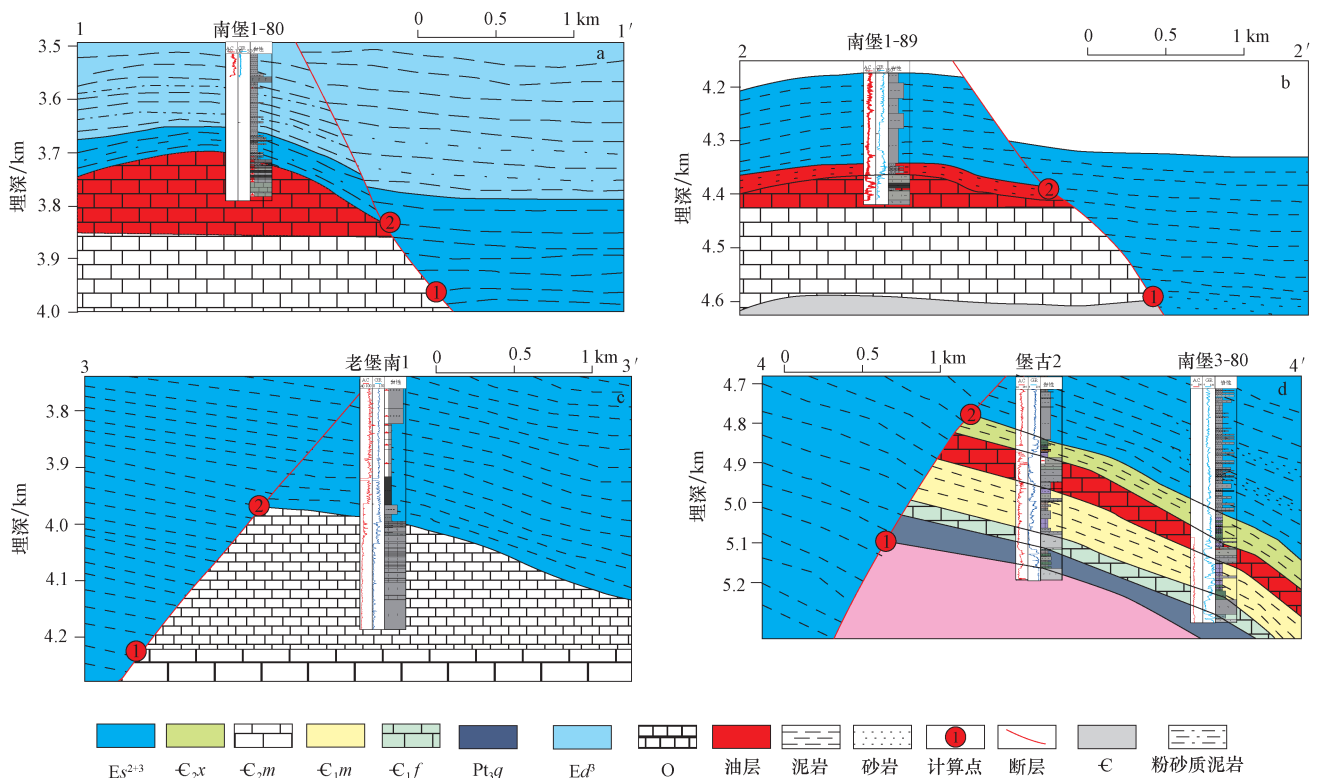


图5 封闭性二级断层剖面(剖面位置见图1)

Fig. 5 Profiles of the closed second-grade faults (see Fig. 1 for the profile location)

- a. 垂直南堡1号断层,过南堡1-80井剖面;b. 垂直南堡1号断层,过南堡1-89井剖面;c. 垂直南堡2号断层,过老堡南1井剖面;
d. 垂直南堡3号断层,过堡古2井—南堡3-80井剖面

Es. 沙河街组;C. 寒武系; C_{2x} . 寒武系徐庄组; C_{2m} . 寒武系毛庄组; C_{1f} . 寒武系府君山组; Pt_3q . 青白口系

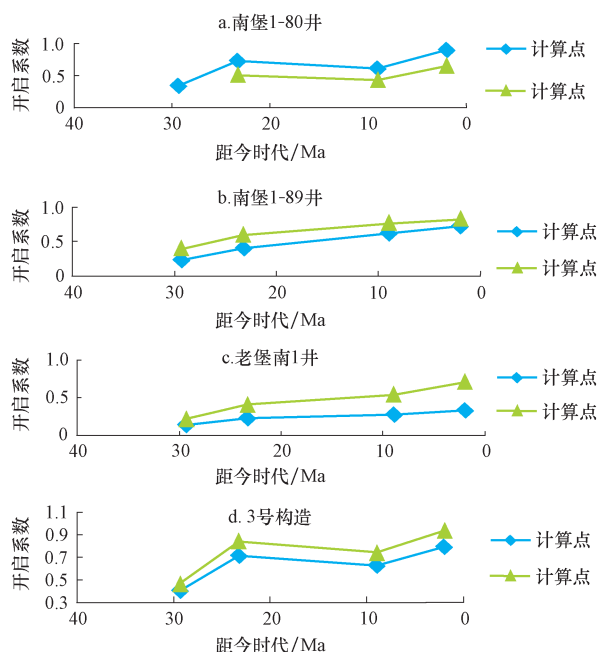


图6 封闭性断层各计算点不同时期开启系数

Fig. 6 FOI of the closed faults in different periods

启闭系数分别为0.33和0.7(图6)。在南堡3号构造中,计算堡古2井左侧的临近断层的启闭系数(图5d),选取的2个计算点中,其现今的启闭系数分别为0.79和0.93(图6)。各探井附近断层上的计算点在断层稳定的地质历史时期特别是现今启闭系数均没有超过1.0,表现为封闭,而在试油过程中这些探井也获得了较高产的油气流。

4.2 开启性断层

本文对南堡1-5井、南堡1-85井这些试油没有获得油气产能的探井附近的断层进行启闭系数计算。

在南堡1号构造中,计算南堡1-5井右侧临近断层启闭系数(图7a),选取的4个计算点中,其现今的启闭系数分别为4.96,3.31,4.96和3.10(图8),均表现为开启。计算南堡1-85井右侧临近断层启闭系数(图7b),选取的3个计算点中,其现今的启闭系数分别为7.36,1.84和3.67(图8),总体表现为开启,油气无法在圈闭中聚集成藏,这两口井在试油过程中也没有获得油气流。

5 断层对储层的改造作用

裂缝是储层的一种重要储集空间,不仅可以提高储层的储集能力,还能够提高流体在储层中的渗流能力^[28-29]。裂缝还控制着溶蚀作用,增加储层储集空间,碳酸盐岩储层的溶蚀孔洞主要沿裂缝发育,研究区单井岩石薄片和成像测井中可以看到大量溶蚀扩大的裂缝和沿裂缝发育的溶蚀孔洞(图9),因此裂缝密度

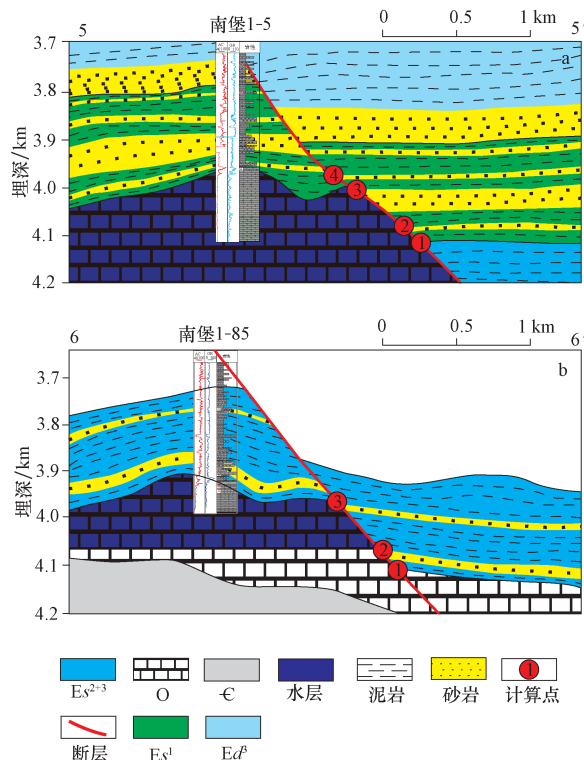


图7 开启性二级断层的剖面(剖面位置见图1)

Fig. 7 Profiles of the open second-grade faults

(see Fig. 1 for the profile location)

a. 垂直南堡1号断层,过南堡1-5井剖面;b. 垂直南堡1号断层,过南堡1-85井剖面

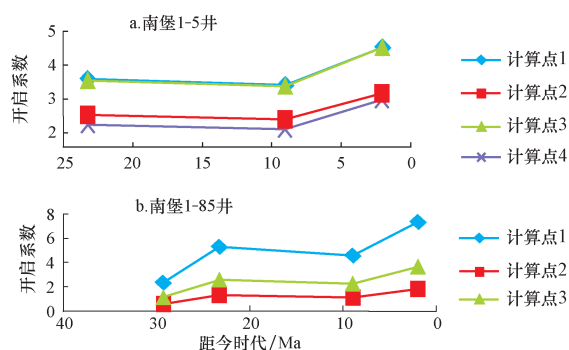


图8 开启性断层各计算点不同时代开启系数

Fig. 8 FOI of the open faults in different periods

可以作为评价储层性质的一个重要标准。

在南堡凹陷,裂缝密度直接影响到了油气的产能,总体上产能随裂缝密度的增加而增大。(图10a)。断层在形成过程中,会在附近的地层中产生一系列的裂缝,使储层的物性得到改善,通过对各探井的岩心以及成像测井资料的分析,发现在南堡凹陷潜山储层中,裂缝密度主要受到二级断层控制,总体上随着与二级断层距离的增大而减小(图10b)。在近距离处出现低值的原因因为碳酸盐岩中泥质含量较高,地层脆性差,不利于裂缝产生,在远距离处出现高值的原因因为附近有多条三级断层,利于裂缝产生。

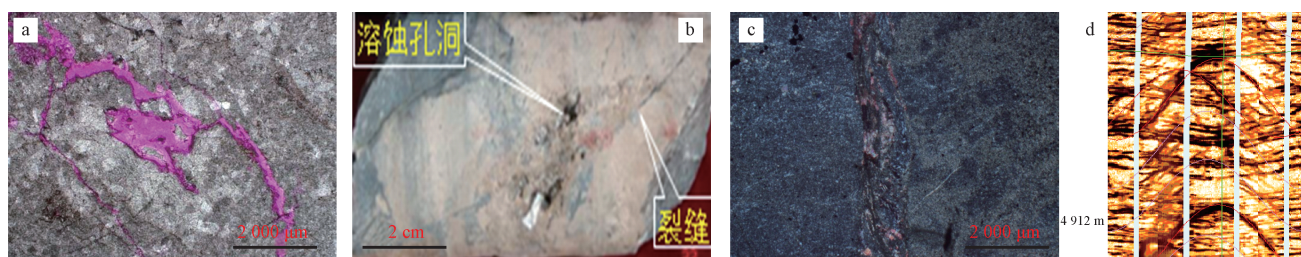


图9 溶蚀孔洞沿裂缝发育特征

Fig. 9 Development characteristics of dissolved pores along the fractures

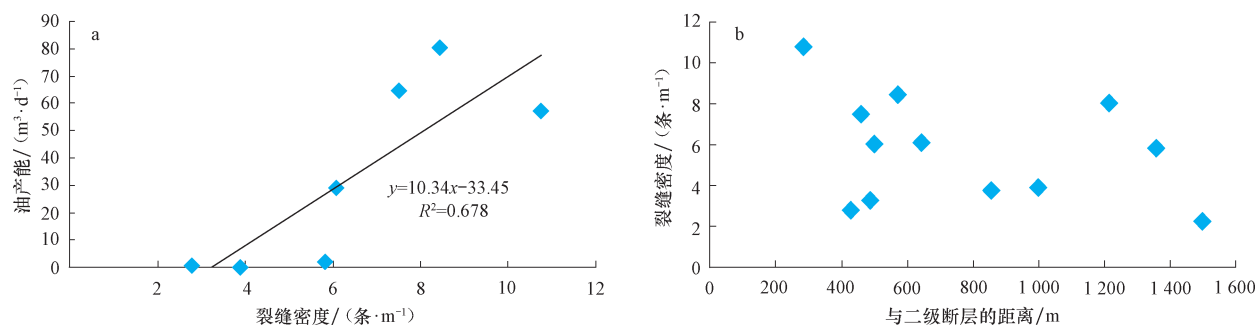


图10 裂缝密度与单井油产能(a)和二级断层距离(b)关系

Fig. 10 Relationship of fracture density with production capacity of single well(a) and the second-grade fault distance(b)

6 结论

1) 潜山断层的断层面形态变化较大,在同一条断层上可包含汇聚型、均匀型和发散型3种输导类型,油气的运移方向受断层面形态的控制,汇聚型输导体系有利于油气的运移,且断层面曲率大的部位试油中可获得较高的产能,如老堡南1井、堡古2井和南堡3-80井具有较高的产能,其所处部位断层面表现为汇聚型输导体系,且断层面曲率较大。

2) 不同潜山断层、同一潜山断层不同位置及同一部位断层不同历史时期的封闭性相差较大,成藏期后断层的启闭系数控制着油气的保存及现今的含油气性,潜山顶部的断层启闭系数小于1时,断层纵向封闭好,油气保存条件好,后期含油气性高,大于3时,断层纵向封闭差,油气向浅部运移,如南堡1-80井、老堡南1井附近断层启闭系数小于1,单井具有较高产能,而南堡1-5井和南堡1-85井附近断层启闭系数大于3,没有获得油气流。

3) 断层改造潜山储层的储集性能主要体现为裂缝的差异性分布,溶蚀孔洞主要沿裂缝发育,储层的裂缝密度与其距二级断层的距离呈现出较好的负相关性,且裂缝密度在一定程度上控制着储层的产能高低,总体上随着裂缝密度的增大,产能增加。

参 考 文 献

[1] 阎敦实,王尚文,唐智. 渤海湾含油气盆地断块活动与古潜山油、

气田的形成[J]. 石油学报,1980,1(2): 1-10.

Yan Dunshi, Wang Shangwen, Tang Chi. Block faulting and formation of oil and gas fields associated with buried hills in Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1980; 1(2): 1-10.

[2] 李欣, 闫伟鹏, 崔周旗, 等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 140-152.

Li Xin, Yan Weipeng, Cui Zhouqi, et al. Prospecting potential and targets of buried-hill oil and gas reservoirs in Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 140-152.

[3] 倪金龙, 夏斌. 断块运动与潜山油气藏的形成——以渤海湾盆地为例[J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 32-35.

Ni Jinlong, Xia Bin. Fault block movement and formation of buried hill hydrocarbon reservoir; taking Bohai Bay Basin as an example [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(2): 32-35.

[4] 李军, 刘丽峰, 赵玉合, 等. 古潜山油气藏研究综述[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 779-887.

Li Jun, Liu Lifeng, Zhao Yuhe, et al. A review of study on ancient buried hill reservoir [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 779-887.

[5] 康琳, 孙永河, 柳冰, 等. 海拉尔-塔木察格盆地中部断陷带断裂系统对潜山油气藏的控制[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(6): 2417-2427.

Kang Lin, Sun Yonghe, Liu Bing, et al. Controlling effect of fault system on formation evolution and reservoir formation of buried hill in middle fault depression belt in Hailer-Tamt sag Basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(6): 2417-2427.

[6] 陈昭年, 陈发景, 苏俊青, 等. 断裂作用对北大港构造带潜山油气藏的控制[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 92-95.

Chen Zhaonian, Chen Fajing, Su Junqing, et al. Control of faulting over oil and gas pools of buried hills in Beidagang structural Belt [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 92-95.

- [7] 孙永河, 万军, 付晓飞, 等. 贝尔凹陷断裂演化特征及其对潜山裂缝的控制[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 316-322.
Sun Yonghe, Wan Jun, Fu Xiaofei, et al. Evolutionary of faults and their control on fractures in buried hill in Beier Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 316-322.
- [8] 殷积峰, 谷志东, 李秋芬. 四川盆地大川中地区深层断裂发育特征及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 376-382.
Yin Jifeng, Gu Zhidong, Li Qiufen. Characteristics of deep-rooted fault and their geological significances in Dachuanzhong area, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 376-382.
- [9] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 161-180.
- [10] Anderson R N, Flemings P, Losh S, et al. Gulf of Mexico growth fault drilled, seen as oil gas migration pathway[J]. Oil and Gas Journal, 1994, 92(23): 97-104.
- [11] 郭丽丽. 孤东中生界潜山油气运聚条件研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
Guo Lili. Research on migration and accumulation conditions of Mesozoic buried-hills in GuDong oil field[D]. Beijing China University of Petroleum, 2010.
- [12] Fowler W A J. Pressure, hydrocarbon accumulation, and salinities-Chocolate Bayou field, Brazoria County, Texas[J]. Journal of Petroleum Technology, 1970, 22(2): 411-423.
- [13] Bouvier JD, Kaars-Sijesteijn C H, Kluesner D F, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun River Field, Nigeria[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(11): 1397-1414.
- [14] Smith D A. Sealing and non sealing faults in Louisiana Gulf Coast basins[J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(2): 145-172.
- [15] 黄曼宁, 董月霞, 庞雄奇, 等. 南堡凹陷构造型油气藏分布主控因素及预测方法[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 695-704.
Huang Manning, Dong Yuexia, Pang Xiongqi, et al. Controlling factors of structural reservoir distribution and its prediction method in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 695-704.
- [16] 周海民. 南堡油田勘探技术文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
Zhou Haimin. Nanpu oilfield exploration technology corpus[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [17] 赵彦德, 刘洛夫, 张枝焕, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷滩海地区奥陶系原油油源分析[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 264-272.
Zhao Yande, Liu Luofu, Zhang Zhihuan, et al. Source analysis of oils from the Ordovician in the Shoal Zone, Nanpu Sag[J]. Geoscience, 2008, 22(2): 264-272.
- [18] 徐春强. 南堡凹陷输导体系控藏模式研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
Xu Chunqiang. Studies on the conduit systems and its control on hydrocarbon accumulation in Nanpu Depression[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2010.
- [19] 王拥军, 张宝民, 王政军, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 51-59.
Wang Yongjun, Zhang Baomin, Wang Zhengjun, et al. Geology characteristics of Ordovician buried hill and main factors of oil/gas accumulation in Nanpu sag, Bohai Bay basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 51-59.
- [20] 范柏江, 刘成林, 柳广弟, 等. 南堡凹陷断裂系统形成机制及构造演化研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(2): 13-17.
Fan Bojiang, Liu Chenglin, Liu Guangdi, et al. Foeming mechanism of fault system and structural evolution history of Nanpu Sag[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2010, 25(2): 13-17.
- [21] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration; a three-dimensional model[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1451-1481.
- [22] 张立宽, 罗晓容, 廖前进, 等. 断层连通概率法定量评价断层的启闭性[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 181-190.
Zhang Likuan, Luo Xiaorong, Liao Qianjin, et al. Quantitative evaluation of fault sealing property with fault connectivity probabilistic method[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 181-190.
- [23] 孙明亮, 柳广弟, 董月霞. 南堡凹陷异常压力分布与油气聚集[J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1126-1131.
Sun Mingliang, Liu Guangdi, Dong Yuexia. Characteristics of abnormal pressure and its relationship with hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Geoscience, 2010, 24(6): 1126-1131.
- [24] 晋香兰. 南堡凹陷断裂封闭性与油气运聚的关系[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2010, 12(3): 1-4.
Jin Xianglan. Relationship between fault seal and hydrocarbon migration and accumulation in Nanpu Depression[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2010, 12(3): 1-4.
- [25] 邓俊国, 王贤. 南堡凹陷构造应力场演化史与油气聚集[J]. 保定师专学报, 1999, 12(2): 72-77.
Deng Junguo, Wang Xian. The evolution history on the tectonic stress field and the oil-gas accumulation[J]. Journal of Baoding Teachers College, 1999, 12(2): 72-77.
- [26] 王冠民, 庞小军, 张雪芳, 等. 渤中凹陷古近系石南断层活动性及其对油气成藏条件的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 859-866.
Wang Guanmin, Pang Xiaojun, Zhang Xuefang, et al. Activity of Shinnan fault and its control on hydrocarbon accumulation in the Paleogene in Bozhong Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 859-866.
- [27] 孙永河, 赵博, 董月霞, 等. 南堡凹陷断裂对油气运聚成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 540-549.
Sun Yonghe, Zhao Bo, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in the Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 540-549.
- [28] 张玺华, 陈洪德, 侯明才, 等. 四川盆地西部新场地区须家河组四段9砂组地震沉积学[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 95-101.
Zhang Xihua, Chen Hongde, Hou Mingcai, et al. Seismic sedimentology of the 9th sand group in the 4th member of the Triassic Xujiahe Formation in Xinchang area of the western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 95-101.
- [29] 白斌, 邹才能, 朱如凯, 等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 526-535.
Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 526-535.