

文章编号:0253-9985(2008)05-0623-09

渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析

杨明慧

(中国石油大学 盆地与油藏研究中心,油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249)

摘要:据地质、地球物理资料和油气成藏要素分析,认为渤海湾盆地潜山在岩性、结构和成因等方面具有多样性特征。岩性包括变质岩、沉积岩(碳酸盐岩、碎屑岩)和火山岩;结构可分单一结构和复式结构;而在成因上有逆冲、伸展和走滑作用。变质岩、火山岩潜山主要见于盆地东部的辽河、渤中和济阳拗陷;翘倾断块碳酸盐岩潜山见于冀中拗陷;而碳酸盐岩内幕潜山见于黄骅、济阳拗陷。储集空间是潜山油气成藏的主控因素。变质岩、火山岩潜山储集空间以裂缝为主;碳酸盐岩潜山除裂缝储层外,另一储集空间是溶蚀的孔、洞、缝。其中,变质岩潜山的裂缝发育受岩性、地貌和构造应力影响;碳酸盐岩潜山的孔、洞、缝发育则与岩性、层位等因素有关。

关键词:储集空间;成藏要素;潜山多样性;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Diversity of buried-hills and comparison of their hydrocarbon-pooling factors in the Bohai Bay Basin

Yang Minghui

(Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: An analysis of geological and geophysical data and hydrocarbon-pooling factors shows that the buried-hills of the Bohai Bay Basin are characterized by diversities in lithology, structure and genesis. The lithology includes metamorphic, sedimentary (carbonates and/or clastics) and volcanic rocks; the structure can be divided into single structure and composite structure; and the genesis includes thrusting, extension and strike-slip. The metamorphic and volcanic buried-hills occur mainly in the Liaohe, Bozhong and Jiyang depressions; the tilting fault-block carbonate buried-hills occur in the Jizhong depression; while the inner carbonate buried-hills occur in the Huanghua and Jiyang depressions. Reservoir space is the main controlling factor for hydrocarbon-pooling in buried-hills. The reservoir spaces in the metamorphic and volcanic buried hills are dominated by fractures; while that of carbonate buried hills have both fractures and dissolution pore-vug-fractures. The development of fractures in the metamorphic buried hills is affected by lithology, geomorphology and structural stress; while the development of the pore-vug-fractures in carbonate buried hills are related to lithology, horizon and other factors.

Key words: reservoir space; hydrocarbon-pooling factor; diversity of buried hill; Bohai Bay Basin

多样性是复杂系统中客观事物外在表现的基本特征,它是系统内部各种因素自身演化与外部环境相影响的结合^[1]。在自然界,有关生物多样性及其涵盖的遗传、物种和生态系统的多样

性已经成为人们关注的热点^[2];有关古生物^[3]、岩石(浆)^[4]、盆地类型^[5]和成矿、成煤、成藏^[6-8]等同样由于其主体物质的自身演化与外在地质环境的影响相结合而具有多样性的表现。

收稿日期:2005-07-31。

作者简介:杨明慧(1962—),男,博士、副教授,构造地质与石地质。

基金项目:中海油天津分公司资助项目(SC06TJ-TQL-004)。

渤海湾盆地是一个大型的叠合(或残留)盆地,其东、西边界分别为北北东的郯庐断裂带和太行山山前断裂带,北为昌黎-宝坻断裂带,南为广饶-齐河断裂带,总体上呈不规则的菱形(图1)。盆地内部发育北北东-北东向和北西-近东西向两组基底断裂系统,并控制辽河、渤中(或渤海海域)、济阳、黄骅、冀中和临清拗陷及邢衡、沧县、内黄和埕宁隆起的形成和演化。渤海湾盆地潜山油气藏是油气勘探的重要组成部分,但分布不均衡。据渤海湾盆地已发现圈闭(大于200个)的分类统计,潜山圈闭占30%以上^[9];而已知61个潜山油气藏的探明储量占盆地总储量的10.4%,其中辽河拗陷8个潜山油气藏的探明储量占该拗陷总储量的20.3%,黄骅拗陷(8个)占2.9%,济阳拗陷(20个)占14.8%,冀中拗陷(21个)占59.7%,渤海海域(4个)占2.3%^[10]。近年来,渤海湾盆地一部分拗陷的潜山类型、储层和成藏模式多样性

已经引起研究者的关注^[8,10],有关潜山的地质、地球物理和油气成藏研究积累了大量的成果和资料。在此基础上,笔者不揣浅陋,探讨渤海湾盆地潜山多样性,并对其成藏要素等问题加以比较分析。

1 潜山多样性

一般认为,渤海湾盆地所谓的潜山是指新生代地层不整合覆盖的下伏基岩(前古近系)隆起构造。这些基岩地层包括太古宇及古元古界变质岩、中-新元古界和下古生界碳酸盐岩、上古生界煤系砂泥岩和中生界含火山岩的陆相碎屑岩等,先后经历加里东、海西运动和印支、燕山、喜马拉雅运动等多期次构造及改造作用。由于构造反转、抬升剥蚀作用在整个盆地的表现差异极大,导致潜山在形成年代、构造作用方式和构造发育部位等方面存在重大差异,从而在岩性、结构及成因

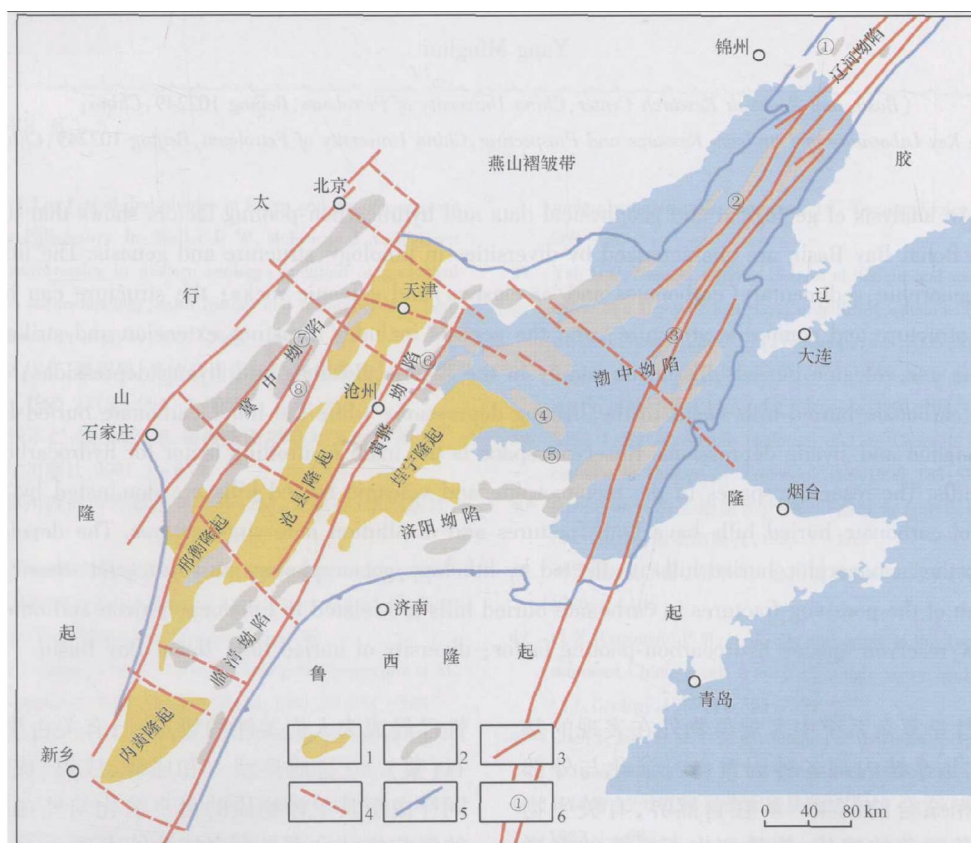


图1 渤海湾盆地潜山分布及构造纲要^[11~15]

Fig. 1 Buried-hill distribution and structural outline in the Bohai Bay Basin

1. 隆起;2. 潜山;3. 北东向主控断层;4. 北西向调节断层;5. 盆地边界;

6. 重要潜山编号:①曙光,②辽西,③渤东,④埕北,⑤孤岛,⑥北大港,⑦任丘,⑧河间

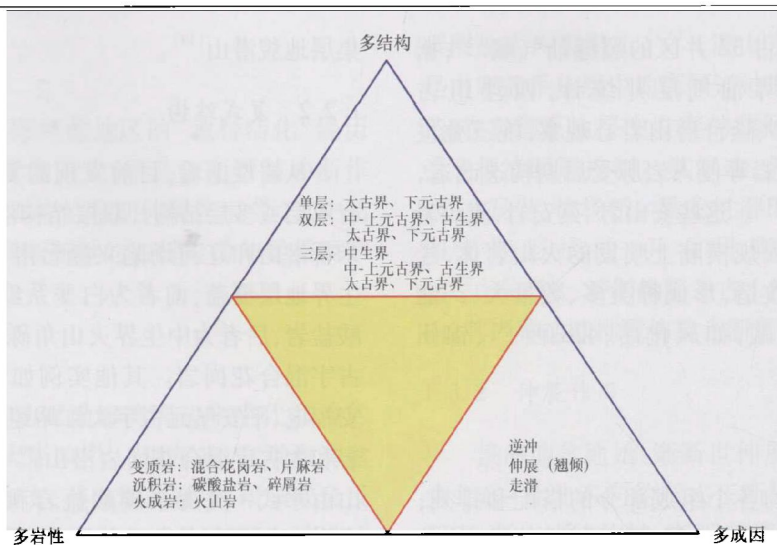


图2 渤海湾盆地潜山多样性三角图

Fig. 2 Triangle map showing diversity of the buried-hills in the Bohai Bay Basin

类型上呈现出潜山的多样性特征(图2)。

1.1 岩性多样性

渤海湾盆地构成潜山顶面及潜山内幕的岩性具有多样性特征,包括变质岩、沉积岩及火成岩等三大类别。

1.1.1 变质岩

变质岩主要见于辽河、渤中和济阳拗陷,以太古宇和古元古界片麻岩、混合花岗岩为主,还见有一些角闪岩、片岩和变粒岩等。这些变质岩一部分直接作为潜山顶面地层发育,但大部分位于潜山内幕,如辽河拗陷边台潜山、牛心坨潜山由太古宇鞍山群黑云母斜长片麻岩、混合花岗岩和少量的斜长角闪岩等变质岩组成^[16,17];渤海海域沙垒田凸起曹妃甸1-6和曹妃甸18-2E井、渤南凸起渤中26-2井、辽西低凸起锦州25-1S井钻遇太古宇变质花岗岩潜山^[18-21];济阳拗陷埕岛-孤东潜山为太古宇泰山群混合岩化的斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩,夹少量的混合花岗岩、斜长片麻岩等^[22-25]。

1.1.2 沉积岩(碳酸盐岩、碎屑岩)

沉积岩潜山包括中-新元古界、下古生界碳酸盐岩、碎屑岩和上古生界、中生界碎屑岩,其中碳酸盐岩潜山最为发育,也是盆地中最重要的和分布最广泛的潜山含油气层位之一。渤海湾盆地最著

名的碳酸盐岩潜山分别是冀中拗陷蓟县系雾迷山组、寒武系府君山组和奥陶系亮甲山组、马家沟组构成的任丘潜山^[26]和黄骅拗陷北大港构造带的奥陶系千米桥潜山^[27]。其他如辽河拗陷曙光潜山地层由青白口系景儿峪组石英砂岩、海绿石砂岩、泥质粉砂岩和寒武系崮山组、长山组、凤山组的泥晶碳酸盐岩、白云岩、微晶白云岩和角砾状白云岩组成,杜家台潜山由长城系大红峪组石英砂岩构成^[28-30];济阳拗陷埕岛地区潜山及内幕地层包括寒武-奥陶系碳酸盐岩及埕北20潜山北部的石炭-二叠系海、陆交互相煤系碎屑岩^[23];而东濮拗陷兰古1、胡古1井钻遇了中生界的砂岩^[31]。

1.1.3 火成岩

渤海湾盆地中生代发育不同时期的火山作用,并形成不同类型的火山岩和火山碎屑岩,如黄骅拗陷早三叠世英安岩和晚白垩世玄武粗安岩、粗面英安岩、流纹岩,济阳拗陷早白垩世玄武粗安岩和晚白垩世煌斑岩,以及辽河拗陷零星的白垩纪火山岩^[32,33]。其他地区有早侏罗世门头沟组底部的玄武岩,中-晚侏罗世髫髻山组火山碎屑岩、集块岩、凝灰岩等,以及早白垩世青山口组凝灰岩、安山集块岩、安山岩、玄武岩、凝灰质砂砾岩和粉砂岩^[34]。

济阳拗陷早白垩世西洼组安山质凝灰岩、安山岩及少量玄武岩,由气孔、杏仁体、收缩裂缝、原生孔隙、溶蚀孔洞和裂隙、裂缝相伴连通,形成老

21、新桩 101 和桩古 32 井区的裂缝油气藏^[35]；据 70 口钻遇中生界油气层井统计，西洼组占 21.7%^[36]。另据兴隆台潜山岩心观察，晚三叠世花岗斑岩、闪长玢岩等侵入岩脉受后期构造改造，裂缝也极为发育^[37]。这些安山岩、英安岩、流纹岩与火山碎屑岩等大规模陆上喷发的火山岩体，经历长期风化淋蚀改造，形成种类多、数量大、产能较高的火山岩油藏，如风化店、428 西^[38]、锦州 20-2 等。

1.2 结构多样性

结构是指事物各个组成部分的搭配和排列；潜山结构是指潜山地层在纵向上的叠加（排列）关系，包括潜山顶面地层或/和潜山内幕地层。由于构造环境的变化，相似的或不同的原型盆地或其被改造后的残留盆地形成纵向叠加关系，使得不同时期的沉积盆地具有不同的结构^[39]。潜山内幕有单一岩层构成的，也有多种时代和岩性的地层构成的^[38]，并因此具有复式结构。

1.2.1 单一结构

单一结构潜山主要发育在辽河、渤中和济阳拗陷，大多是由新生代地层覆盖太古宇变质岩潜山，分布局限。单一结构潜山的构造样式一般为翘倾断块，潜山高点地层风化剥蚀至太古宇或古元古界变质岩，而顺地层倾向在较低部位依次发育古、中生界地层。比较重要的单一结构潜山如冀中拗陷的任丘雾迷山组碳酸盐岩潜山；辽河拗陷的齐家太古宇变质岩潜山，上覆沙（河街组）四段地层（图 3a）^[28]；辽西低凸起锦州 25-1S 太古宇变质岩潜山，上覆沙三段泥岩，属风化体块状储

集层地貌潜山^[19]。

1.2.2 复式结构

从岩性上看，目前发现的复式结构潜山多具有双层或多层结构。双层结构潜山如黄骅拗陷千米桥潜山和辽河拗陷兴隆台潜山，其主体均被中生界地层覆盖，前者为白垩系红层覆盖奥陶系碳酸盐岩，后者为中生界火山角砾岩、砂砾岩覆盖太古宇混合花岗岩。其他实例如大民屯拗陷静北、安福屯、平安堡元古宇大红峪组、高于庄组碳酸盐岩和太古宇混合花岗岩潜山^[40]；济阳拗陷富台潜山由寒武-奥陶系碳酸盐岩和太古宇变质岩构成^[41]。三层结构潜山如济阳拗陷车古 20 潜山，由石炭-二叠系泥岩、寒武-奥陶系碳酸盐岩和太古宇花岗片麻岩组成^[42,43]；埕北 30 潜山由中生界碎屑岩、寒武-奥陶系碳酸盐岩和太古宇花岗片麻岩组成（图 3b）^[44]；南堡油田潜山由太古界变质花岗岩、古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩和中生界侏罗-白垩系碎屑岩组成^[45]；渤南低凸起渤中 20-22 潜山带由中生界火山岩、寒武-奥陶系碳酸盐岩和古元古界变质岩组成等。

重要的是，针对兴隆台-马圈子变质岩潜山的勘探突破了只有碳酸盐岩潜山才能形成内幕油气藏的观念^[37,46]。2003 年以来，马古 1 井在 4 000 m 深的内幕获工业油气流；马古 3 井在钻穿中生界 911 m 后的 4 300 m 深度发现油气层；兴古 7 井钻进 1 640 m 厚的太古宇变质岩，揭示潜山的内幕多层段富含油气，从而发现了变质岩潜山的内幕油藏^[40,47]。显然，渤海湾盆地潜山内幕油藏不仅仅只是碳酸盐岩油藏，石炭-二叠系、中生界甚至太古宇变质岩潜山内幕均是值得关注的勘探目标^[48]。

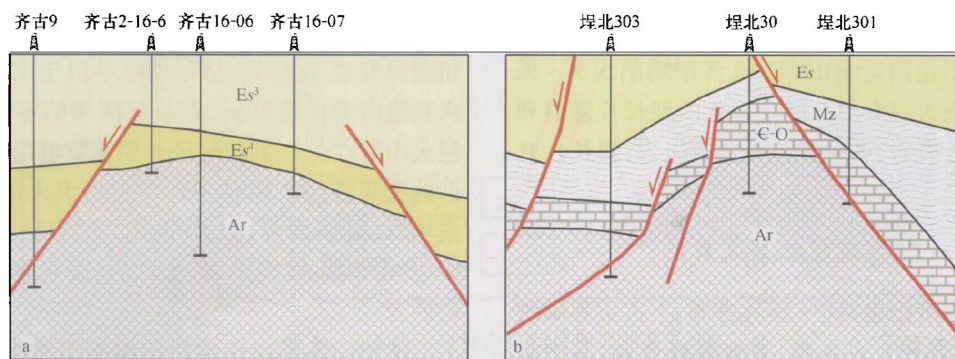


图3 渤海湾盆地潜山结构多样性剖面示意图

Fig. 3 Sketch map showing structural diversity of the buried-hills in the Bohai Bay Basin

1.3 成因多样性

研究表明,渤海湾盆地区的“地台活化”经历了晚三叠—中侏罗世印支、早燕山期褶皱冲断作用,以及晚侏罗世以来的多期伸展作用^[49],其中始新世的拉张伸展和渐新世的右行走滑伸展是两个主要的伸展高峰期^[50]。

1.3.1 逆冲作用

印支、燕山运动对渤海湾周边中生代盆地的构造演化具有重大影响^[51]。近年来,在渤海湾盆地内部不断发现印支、燕山期的逆冲、褶皱或负反转构造现象,表明研究区曾经发生多期次的逆冲构造作用^[52~56]。

渤海湾盆地内存在不同样式的挤压构造,如黄骅坳陷北东向的北大港、徐杨桥短轴背斜^[57,58]和北大港逆断层、孔店构造带(图4a)的孔西、孔东逆断层,济阳坳陷孤北磨山逆断层、平卧褶皱和五号桩—埕北、孤西—埕南、陈南—罗西—车西、石村—阳信及仁风—滋镇逆冲断裂带^[42,44,59,60],以及济阳坳陷、冀中坳陷的负反转构造带(图4b)^[53,61]。地震剖面显示,千米桥潜山是中生代挤压形成的

碳酸盐岩内幕潜山^[27,62],潜山东侧的板深7构造是由寒武系地层中的南倾逆冲断片构成的双重构造;在奥陶系地层中发育的北倾背驮式逆冲构造受底板冲断层控制。类似地,黄骅坳陷南部的孔西、乌马营、徐杨桥—黑龙村潜山的逆冲构造是在印支期形成的,并在早燕山期进一步活动^[52,53,63~66]。济阳坳陷王古1潜山属于褶皱块断山,其内幕逆冲推覆构造为断展褶皱^[67]。

1.3.2 伸展作用

渤海湾盆地始、渐新世伸展作用的主要构造为北东—北北东向的犁式正断层。在伸展应力作用下,断块持续旋转,断面逐渐变缓,部分断块旋转的角度达 25° ^[46];所成半地堑或地堑宽度达2~15 km,垂直落差1~10 km,伸展量约16%^[68]或30%^[69]。多数断块是单侧伸展,形成箕状凹陷;少数断陷是两侧伸展形成地堑。如冀中、黄骅和临清坳陷的南部由东、西两侧的半地堑“对峙”构成裂谷盆地,其边界断层为犁式正断层;而在冀中、黄骅坳陷的北部及辽河坳陷由单个犁式正断层构成复式半地堑^[70,71]。

翘倾断块多呈单斜样式,顶面形态与内幕产

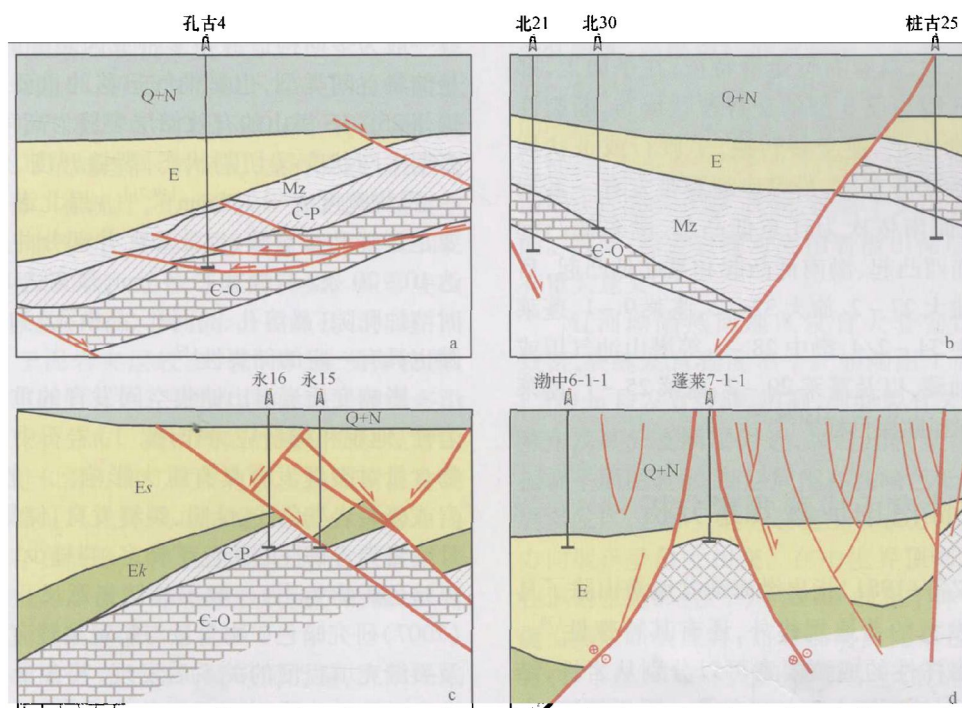


图4 渤海湾盆地潜山成因多样性剖面示意图

Fig. 4 Sketch map showing genetic diversity of the buried-hills in the Bohai Bay Basin

状基本一致(图4c),倾角在 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$,从结构上可分为主断棱、次断棱、主断槽、次断槽和断阶等5个不同的单元^[72],其典型实例如辽西低凸起、徐杨桥、埕岛、孤岛、任丘潜山等。冀中坳陷任丘潜山是被西翼任丘断层和东翼马西断层控制的翘倾断块,其中任丘断层发育在白垩纪、断距3 000 m,马西断层发育在沙河街组四段沉积期后、断距5 000 m。在这两条断层的共同作用下,基底地层西升东降,在断块的翘起端形成任丘潜山^[26]。辽河坳陷的正断层造成一系列基底西升东降的单面山,如西部凹陷曙光-欢喜岭潜山、大民屯凹陷东胜堡潜山和东部凹陷茨榆坨潜山等;而靠近主断层一侧形成东翘西倾的单面山,如东部凹陷三界泡潜山^[73]。

1.3.3 走滑作用

渤海湾盆地区的一些北北东向区域性断裂在中、新生代具有明显的走滑活动特征,如沈阳-潍坊(郯庐断裂渤海段,或称营口-潍坊断裂)走滑断裂带、黄骅-德州-东明走滑断裂带和霸县-束鹿-邯郸走滑断裂带^[14]。这些走滑断裂带在中生代呈左行,而在新生代呈右行活动。

渐新世晚期,郯庐断裂的主干断裂呈北东走向,在三维地震剖面上断面陡直、倾向多变、正逆性质交替出现,具有右行走滑特征;在平面上,郯庐断裂呈S型与反S型的交替波状展布,断裂性质沿走向发生正、逆交替转换,呈雁行或帚状展布^[74,75]。在渤海东部,沿郯庐断裂带发育一系列潜山,自北而南依次为辽东低凸起、渤东低凸起(图4d)、庙西凸起、渤南低凸起和莱北低凸起,目前已发现旅大27-2、旅大32-2、蓬莱9-1、蓬莱19-3、渤中34-2/4、渤中28-1等潜山油气田或潜山披覆油藏,以及蓬莱20-2、蓬莱25-1、蓬莱25-4等有利勘探目标^[51,76,77]。

2 多样性潜山成藏要素分析

胡见义等(1981)指出渤海湾盆地潜山除了具有油气藏发育的普遍规律外,还有其特殊性^[38]。针对潜山多样性的成藏要素可以分别从岩性、结构和/或成因等不同方面加以剖析。限于篇幅,本文仅从岩性多样性视角分析、比较各类潜山成藏要素之间的异同。

2.1 变质岩潜山

渤海湾盆地变质岩潜山多见于辽河、渤中和济阳坳陷,其烃源岩大多来自古近系,并由断层、不整合面构成油气运移通道。例如,法哈牛太古宇变质岩潜山油气主要由荣胜堡洼陷和潜山区的沙三-沙四段烃源岩供给,油气沿哈西断层和不整合面运移至潜山圈闭形成新生古储的成藏组合^[78];兴隆台潜山具有太古宇和中生界双层结构,被包围在陈家、清水、盘山洼陷的沙三-沙四段烃源岩中,潜山西侧的断层供油窗口是其关键成藏要素^[40]。辽西低凸起位于辽中凹陷东(营组)三段、辽西凹陷沙三下亚段的富生烃凹陷烃源岩之间,西侧的油气运移通道是辽西一、二号断层,东侧为缓坡带的不整合-断层-砂体组成的复式输导体系^[21,79]。埕北30潜山内幕具有中生界、古生界和太古宇三层结构^[80],油气来自渤中凹陷的沙三段烃源岩,潜山地层为角度不整合或断层接触^[81]。显然,变质岩潜山成藏要素中的烃源岩和油气运移通道在渤海湾盆地是普遍具备的,潜山成藏的差异性取决于储层的储集性能。

变质岩潜山的储集性能与裂缝发育程度有关,后期溶蚀孔隙(洞)和裂缝起决定性作用。裂缝一般为多期构造缝与多种成因裂缝的叠加,既是储集空间类型,也是油气运移的重要通道。如锦州25-1S潜山的有效储层裂缝为高角度缝,呈多期次网状交叉切割状态,裂缝开度、延长度不一,平均宽度大于1.5 mm^[19,21]。埕北潜山储层主要是裂缝和微裂缝,埕北303井部分井段的裂缝达10~20条/m;缝宽1~4 mm,最宽达10 mm;同时溶蚀孔隙(晶溶孔、晶间孔、晶模孔)和晶间微孔隙也具有一定的储集性^[82]。

影响变质岩潜山储集空间发育的重要因素是岩性、地貌和构造应力作用。1)岩石中的脆性矿物含量对裂缝发育具有重大影响。一般地,混合岩或碎裂岩类色浅、性脆,裂缝发育,储集性能好;片麻岩类含韧性的暗色矿物多,裂缝少;角闪岩类以暗色矿物为主,一般不具储集意义。周心怀等(2007)研究暗色矿物含量与宏观裂缝有效面孔率及裂缝充填程度的关系后发现,其含量与有效面孔率呈消长关系;当暗色矿物含量大于15%时,岩石平均全充填宏观裂缝的比例明显变大^[19]。另外,单层厚度较大的脆性岩类发育裂缝;如与塑性

岩石互层,其裂缝发育程度变差^[83]。2)潜山的局部高点控制储层分布范围,而高点之间的低洼区处于滞流带,裂缝容易被泥质或自生矿物充填成无效裂缝。显然,风化残积物是变质岩潜山最好的储层类型,但孔渗性能随埋藏深度增加而趋于减小^[16]。3)变质岩潜山受伸展和/或郯庐断裂带走滑作用影响,断层、裂缝多呈北东向分布。在断层附近,构造应力和裂缝分布具有分带性,形成一组平行断层的张裂缝和两组斜交断层的剪裂缝,其中张裂缝区是潜山油气的富集区^[84]。

2.2 碳酸盐岩潜山

碳酸盐岩潜山主要见于冀中、黄骅和济阳坳陷,其中冀中坳陷发育元古宇和古生代与翘倾断块有关的碳酸盐岩潜山,而辽河、黄骅、济阳坳陷多发育内幕挤压的古生界碳酸盐岩潜山。除了新生古储的古近系烃源岩以外,在黄骅坳陷南区、冀中坳陷北部还有原生和/或古生古储潜山油气藏^[85-87]。碳酸盐岩潜山中的烃源岩通过不整合面与潜山直接接触,或与潜山低部位接触或不能直接接触;而供油断层则有顺倾向断面、反倾向断面和烃源岩层平行断面供油等3种。两者相比,不整合面的供油效果较好,如任丘潜山不整合面供油面积可达断层面的9倍^[88]。

冀中坳陷中、新元古界和下古生界的碳酸盐岩分布十分广泛,厚度大于5 400 m。其孔、洞、缝相互联通,形成缝连洞、洞串孔、左右相连、上下沟通的储集体。据统计,孔、洞是油气的主要储集空间,裂缝是油气的主要运移、渗透通道^[89]。孔、洞、缝发育主要与岩性、层位等因素有关。如雾迷山组和奥陶系的白云岩、灰岩十分发育孔、洞、缝;而寒武系由于泥岩夹层较多,孔、洞、缝发育较差。缝洞发育与断层有关,一些放空、漏失井缝洞多沿断层呈串珠状分布。冀中坳陷的翘倾断块是潜山形成的关键和潜山油气藏发育的主控因素。这类潜山山头常见风化体残丘油藏,山坡由于潜山内部隔层的存在而形成楔状油藏,在潜山内幕断层一侧的泥岩与潜山内部隔层形成块状油藏,三者构成复式油气聚集带^[26]。

与任丘风化壳型油气藏不同的是,济阳坳陷车古201井钻探发现的是寒武系火山组和奥陶系冶里组、亮甲山组的内幕油气藏。潜山内幕成藏的油气运移通道主要为断层。内幕储层通过断层

与古近系烃源岩存在3种配置关系,即直接接触、在烃源岩上方和在烃源岩下方。一般地,储层与烃源岩直接接触,成藏条件最有利;储层在烃源岩之上则次之;储层在烃源岩之下最差^[90]。在储集空间的纵向分布上,碳酸盐岩潜山存在一定的规律性,即裂缝普遍发育,而孔、洞仅在部分层段发育,如曙光潜山中、高潜山带具有“上缝下孔”特征等^[91]。内幕油气藏还见于冀中坳陷北部和黄骅坳陷,但由于奥陶系碳酸盐岩上覆白垩系红层和石炭-二叠系煤系地层,直接影响着储层发育。千米桥潜山的油气主要储集在马家沟组上段的储层中,白云石化形成的残余晶间孔、含硬石膏层溶蚀形成的膏模孔及溶蚀作用改造而成的中-小型溶洞为主要储集空间,其中溶洞孔隙占储层孔隙的81%。据钻井统计分析,储集空间类型与岩性有关,白云岩及泥粉晶白云岩的储层多为孔隙型、孔-洞-缝复合型及裂缝-孔隙型,灰岩及白云质灰岩多为溶洞型、裂缝型和溶洞-孔隙型等^[27]。

2.3 火山岩潜山

火山岩潜山主要发育在辽河、渤中和济阳坳陷,油气主要来源于古近系生油凹陷,以沙三段为主。长期发育的继承断层、多期不整合面及部分高孔隙度、高渗透性砂岩是油气运移通道。火山岩一般具较丰富的气孔构造,后期热液与有机酸的溶蚀作用使其形成大量的次生溶孔、溶洞,但连通性差;由断裂作用产生的构造裂缝,使火山岩潜山形成连通的孔隙、孔洞,改善了火山岩的储集性能。因此,构造裂缝对火山岩潜山储层的发育具有重大意义^[92]。

辽河坳陷燕南地区发育大套安山岩,岩性致密,裂缝发育程度不一。如燕南1井1 380~1 390 m段发育裂缝、溶洞,与断裂有关。在燕南、燕东及其分支断层附近,裂缝比较发育。相干体振幅平面图显示,断层周围存在暗色低值区,为裂缝多发区,含油。这些裂缝呈带状分布,与主应力方向展布呈角度相交。在中生界顶部,裂缝发育在该区东北部;在下延10 ms的相干体切片上,裂缝沿燕东断裂发育,而北部潜山高部位裂缝不发育;在下延50 ms的相干体切片上,裂缝普遍发育,说明潜山顶面存在溶蚀风化带^[93]。显然,裂缝性火成岩储层的有利区主要分布在断陷周边地区,裂缝类型是经过后期改造的构造裂缝。断裂邻近

地区是裂缝火山岩油气藏的有利勘探目标。济阳坳陷的西洼组火山岩储层主要为安山质凝灰岩、安山岩及玄武岩,横向非均质性强。火山岩储层与碳酸盐岩潜山类似,可分为不整合面岩溶型、内幕孔洞型和裂缝型储集系统^[94]。由于西洼组顶面为中、新生界间的角度不整合面,构成了典型的不整合面岩溶型储集系统。相比而言,由于火山岩类的气孔、杏仁体和收缩裂缝发育,其原生孔隙性(内幕孔洞)也要好于碳酸盐岩^[36]。

3 结论

1) 渤海湾盆地潜山具有多样性特征。其中,岩性多样性包括变质岩类、沉积岩类(碳酸盐岩、碎屑岩)和火山岩类;结构多样性包括单一结构和复式结构;成因多样性包括逆冲、伸展和走滑断裂作用等。潜山多样性研究对于潜山分类和潜山油气藏勘探具有重要意义。其中,变质岩、火山岩潜山主要见于盆地东部的辽河、渤中和济阳坳陷;翘倾断块碳酸盐岩潜山见于冀中坳陷;而碳酸盐岩内幕潜山见于黄骅、济阳坳陷。

2) 潜山油气聚集受多种成藏要素制约,但主控因素是储层空间。变质岩、火山岩潜山储集空间以裂缝为主;碳酸盐岩潜山除裂缝储层外,还有溶蚀的孔、洞、缝。变质岩潜山的储集空间发育受岩性、地貌和构造应力作用影响;而碳酸盐岩潜山的孔、洞、缝发育程度与岩性、层位等因素有关。

参 考 文 献

- 赵鹏大,陈建平,陈建国.成矿多样性与矿床谱系[J].地球科学,2001,26(2):111~117
- 尚占环,姚爱兴.生物多样性研究中几个热点问题的研究现状[J].自然杂志,2003,25(2):105~110
- 张元动,陈旭.奥陶纪笔石动物的多样性演变与环境背景[J].中国科学(D辑),2008,38(1):10~21
- 张旗,许继峰,王焰,等.埃达克岩的多样性[J].地质通报,2004,23(9-10):959~965
- 魏国齐,贾承造,李本亮.我国中西部前陆盆地的特殊性和多样性及其天然气勘探[J].高校地质学报,2005,11(4):552~557
- 赵鹏大,陈建平,张寿庭.“三联式”成矿预测新进展[J].地学前缘,2003,10(2):455~463
- 桑树勋,陈世悦,刘焕杰.华北晚古生代成煤环境与成煤模式多样性研究[J].地质科学,2001,36(2):212~221
- 李丕龙,张善文,王永诗,等.断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究——以济阳坳陷为例[J].石油学报,2004,25(3):28~31
- 胡见义,牛嘉玉.渤海湾盆地油气聚集理论和勘探实践的再深化[J].石油学报,2001,22(1):1~5
- 刘传虎,王军.济阳坳陷古潜山油气藏体系及勘探技术[J].特种油气藏,2002,9(2):1~5
- 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J].石油实验地质,1995,17(4):316~323
- 何海清,王兆云,韩品龙.华北地区构造演化对渤海湾油气形成和分布的控制[J].地质学报,1998,72(4):313~322
- 高瑞琪,王喜双,吴永平,等.渤海湾盆地北部奥陶系潜山勘探与科技攻关[J].勘探家,1999,4(4):1~6
- 池英柳,赵文智.渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集[J].石油学报,2000,21(2):14~20
- 周立宏,李三忠,刘建忠.渤海湾地区前第三系构造演化与潜山油气成藏模式[M].北京:中国科学技术出版社,2003.131~181
- 张吉昌,罗玉庆,陈和平,等.辽河盆地牛心屯变质岩裂缝性储层研究[J].河南油田,1998,8(1):9~12
- 陈元春,王桂珍,陈和平.辽河台盆山裂性储集层特征[J].新疆石油地质,1998,19(3):228~230
- 张国良,王德英,李颖.严格划分盆地内二级正向构造单元的地质意义——以渤海海域为例[J].海洋石油,2001,21(4):35~41
- 周心怀,项华,于水,等.渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J].石油勘探与开发,2005,32(6):17~20
- 薛永安,项华,李思田.锦州25-1S大型混合花岗岩潜山油藏发现的启示[J].石油天然气学报,2006,28(3):29~31
- 项华,周心怀,魏刚,等.渤海海域锦州25-1南基岩古潜山油气成藏特征分析[J].石油天然气学报,2007,29(5):32~35
- 王端平,张敬轩.胜利油区埕北30潜山油藏储层研究[J].石油实验地质,2000,22(4):346~349
- 孔凡仙,林会喜.埕岛地区潜山油气藏特征[J].成都理工大学学报,2000,27(2):116~122
- 周英杰,张敬轩,张吉昌,等.裂缝性潜山油藏储集体岩性定量识别——以埕北30太古界潜山储集体为例[J].中国岩溶,2002,21(2):140~144
- 陈广军,张善文.试论埕岛和桩西之间低潜山的勘探[J].石油实验地质,2002,24(4):306~310
- 费宝生,汪建红.渤海湾盆地任丘古潜山大油田的发现与勘探[J].海相油气地质,2005,10(3):43~50
- 吴永平,杨池银,付立新,等.渤海湾盆地千米桥凝析油气田的勘探与发现[J].海相油气地质,2007,12(3):44~52
- 张占文,张凤莲,曹滨海.断块运动与西部凹陷潜山油气藏的形成[J].断块油气田,1995,2(6):1~5
- 李宗飞,魏喜,王仁厚.辽河盆地西部凹陷曙103古潜山储层研究[J].特种油气藏,1998,5(3):12~17
- 吴智勇,郭建华,吴东胜,司继伟.辽河西部凹陷曙103块潜山油藏储层特征[J].石油大学学报(自然科学版),2001,25(1):42~45

- 31 刘玄烨. 东濮凹陷潜山的地质特征与储层分析[J]. 石油地球物理勘探, 1994, 29(S1): 144 ~ 148
- 32 杜旭东, 张一伟, 漆家福. 黄骅坳陷中生代隐伏火山岩系的特征及其形成的构造环境[J]. 地球学报, 1999, 20(1): 30 ~ 38
- 33 谷俐, 戴塔根, 范蔚茗. 渤海周边中、新生代火山作用及其深部过程意义[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(1): 9 ~ 17
- 34 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律[J]. 海洋地质研究, 1981, 1(1): 3 ~ 20
- 35 范存堂, 冯有良, 付瑾平. 东营凹陷潜山成藏条件及成藏规律分析[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 35 ~ 38
- 36 张青林, 任建业, 陆金波, 等. 济阳坳陷中生界古潜山油气富集规律及有利勘探区预测[J]. 特种油气藏, 2008, 15(2): 14 ~ 17
- 37 孟卫工, 李晓光, 刘宝鸿. 辽河坳陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 584 ~ 589
- 38 胡见义, 童晓光, 徐树宝. 渤海湾盆地古潜山油藏的区域分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1981, 8(5): 1 ~ 5
- 39 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 110 ~ 116
- 40 李晓光, 陈振岩, 陈永诚. 大民屯凹陷低潜山勘探实践及下步勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2005, 10(4): 23 ~ 28
- 41 王玉芹, 王军, 范崇海, 等. 车镇凹陷富台油田古生界潜山裂缝评价[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(3): 34 ~ 36
- 42 王颖, 王英民, 赵锡奎, 等. 济阳坳陷断块型潜山油气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 10 ~ 13
- 43 赵荣, 付晓飞, 云金表. 车古 20 潜山形成演化特征及含油性[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(4): 376 ~ 378
- 44 谭明友, 刘福贵, 董臣强, 等. 堤北 30 潜山构造演化与油气富集规律研究[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(2): 134 ~ 137
- 45 刘淑华, 薛云松, 赵宝银, 等. 南堡油田古生界古潜山油藏裂缝描述预测及勘探[J]. 特种油气藏, 2007, 14(1): 41 ~ 44, 48
- 46 谯汉生. 渤海湾盆地油气勘探现状与前景[J]. 勘探家, 1999, 4(1): 18 ~ 21
- 47 谢文彦, 孟卫工, 张古文, 等. 辽河坳陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 649 ~ 652
- 48 谢恭俭. 华北地区潜山内幕油气藏[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(5): 8 ~ 10
- 49 汪泽成, 刘和甫, 段周芳, 等. 黄骅坳陷中生代构造负反转分析[J]. 地球科学, 1998, 23(3): 289 ~ 293
- 50 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郑庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1 ~ 10
- 51 郑亚东, Davis G A, 王琮, Darby B J, 张长厚. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报, 2000, 74(4): 289 ~ 302
- 52 漆家福, 杨池银. 黄骅盆地南部前第三系基底中的逆冲断层[J]. 地球科学, 2003, 28(1): 54 ~ 60
- 53 杨明慧, 刘池阳, 杨斌谊. 冀中坳陷东部西倾断裂的构造负反转过程[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 35 ~ 37
- 54 杨明慧, 王嗣敏, 陈善勇, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷奥陶系碳酸盐岩潜山成因分类与分布[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 310 ~ 316
- 55 常国贞, 毕彩芹, 林红梅. 低潜山反转构造演化、成藏体系与勘探——以胜利油区孤北低潜山为例[J]. 断块油气田, 2002, 9(5): 19 ~ 23
- 56 贾雷甫, 徐思煌. 东营凹陷通王地区负反转构造与断块型古潜山的形成[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(3): 19 ~ 21
- 57 王同和. 渤海湾盆地中、新生代应力场的演化与古潜山油气藏的形成[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(3): 273 ~ 280
- 58 于福生, 漆家福, 王春英. 华北东部印支期构造变形研究[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 402 ~ 406
- 59 苏应雪, 张秉政. 济阳坳陷孤北古潜山逆断层的发现及其地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(4): 42 ~ 47
- 60 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝, 等. 济阳坳陷构造演化及其大地构造意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 275 ~ 282
- 61 陈洁, 董冬, 邱明文. 济阳坳陷的负反转构造及其石油地质意义[J]. 石油实验地质, 1999, 21(3): 201 ~ 206
- 62 吴李泉, 郑玉梅, 曹代勇, 等. 千米桥潜山构造特征及其在油气成藏中的作用[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 38 ~ 40
- 63 漆家福, 杨池银, 张俊, 等. 黄骅盆地孔西潜山前第三系基底内幕构造解释[J]. 石油与天然气地质, 2002, 22(1): 30 ~ 33
- 64 付立新, 陈善勇, 王丹丽, 等. 乌马营奥陶系潜山天然气藏特点及成藏过程[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(5): 25 ~ 27
- 65 陈清华, 刘池洋, 李琴, 等. 黄骅坳陷徐杨桥—黑龙村潜山带逆冲构造的发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 353 ~ 356
- 66 张俊, 潘懋, 漆家福, 等. 黄骅盆地孔西构造带的构造几何学特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(4): 524 ~ 530
- 67 王长城, 施泽进, 田亚铭. 东营凹陷王古 1 潜山构造特征与含油气性分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(3): 262 ~ 267
- 68 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律[J]. 海洋地质研究, 1981, 1(1): 3 ~ 20
- 69 陆克政, 漆家福, 戴俊生, 等. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 1 ~ 251
- 70 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 845 ~ 851
- 71 何斌. 渤海湾复式盆地动力学探讨[J]. 石油实验地质, 2001, 23(1): 27 ~ 31
- 72 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
- 73 刘立, 任德生, 姚继峰. 辽河盆地与伸展作用有关的构造运动学分析[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(2): 124 ~ 126
- 74 李宏伟, 许坤. 郑庐断裂走滑活动与辽河盆地构造古地理格局[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 467 ~ 470
- 75 周士科, 李焱, 陈生泽, 等. 渤海湾盆地渤中 34 区走滑断裂特征[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(3): 5 ~ 7
- 76 邓运华, 李秀芬. 蓬莱 19-3 油田的地质特征及启示[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(1): 68 ~ 71
- 77 葛建党. 郑庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系[J]. 海洋石油, 2001, 21(1): 14 ~ 20

(下转第 638 页)

低孔、低渗储集岩,但也发育厚层滨岸相、三角洲分流河道、河口砂坝以及潮汐水道等孔、渗好的砂岩储层。柯坪塔格组砂岩具有深埋藏、大面积、低丰度、薄油气层、断层沟通、叠合连片的油气成藏特点。

2) 塔河地区南部寒武-奥陶系烃源岩形成的烃类,沿着断裂、裂隙、砂岩和不整合面经过奥陶系桑塔木组泥岩垂向运移到柯坪塔格组砂岩聚集成藏。砂岩油气成藏以喜马拉雅期成藏为主,发育背斜、地层不整合遮挡、地层超覆、岩性、构造-岩性复合型等5种油气藏类型。

3) 围绕塔河北部高部位志留系剥蚀尖灭线南侧是地层不整合遮挡油气藏有利成藏区,往南是背斜、地层超覆及岩性油气藏有利成藏区。

4) 塔河地区南部志留系油气预测储量约 1.6×10^8 t,可能存在致密砂岩气藏,油气资源潜力可观。为了提高塔河地区志留系油气勘探开发效益,必须加强针对低孔、低渗透砂岩油气藏及体现产能的配套工艺攻关。

致谢:课题研究过程中,得到中国石化西北分公司研究院有关领导和工作人员的大力支持和热情帮助,在此向他们表示诚挚的谢意!

参 考 文 献

- 1 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南、塔河稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~38
- 2 张水昌,梁狄刚,张宝民,等. 塔里木盆地海相油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社, 2004. 45~47
- 3 范小林,邱蕴玉,鲍新毅. 塔里木盆地轮南-阿克库勒地区地质构造及油气成藏与勘探目标[J]. 石油实验地质, 1996, 21(2): 132~136
- 4 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307~312
- 5 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64~77
- 6 徐国强,刘树根,李国蓉,等. 塔中、塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 114~119, 129
- 7 闫相宾,李铁军,张涛,等. 塔中与塔河地区奥陶系岩溶储层形成条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 201~207
- 8 李江龙,黄孝特,张丽萍. 塔河油田4区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 630~633
- 9 康志江,李江龙,张冬丽,等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 634~640, 673

(编辑 陈喜禄)

(上接第631页)

- 78 李军生,林春明,毕建国,等. 辽河盆地大民屯凹陷法哈牛构造太古界古潜山成藏特征研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(4): 27~30
- 79 姜培海. 辽西低凸起油气成藏的主要控制因素及勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(4): 24~27
- 80 王军,张强. 埕北30潜山太古宇储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 57~59
- 81 杨凤丽,周祖翼,王永诗,等. 埕岛大油田形成机理与油气成藏模式[J]. 勘探家, 2000, 5(4): 16~18
- 82 袁静. 埕北30潜山带太古界储层特征及其影响因素[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 48~51
- 83 赵立晏. 大民屯凹陷古潜山裂缝特征及控制因素[J]. 地质科技情报, 2007, 26(4): 37~41
- 84 曾联波,任德生. 大民屯凹陷静52断块油藏裂缝参数研究[J]. 断块油田, 1998, 5(4): 29~32
- 85 吴永平,肖敦清,于俊利. 黄骅坳陷孔西潜山特殊油气藏的发现[J]. 特种油气藏, 1998, 5(1): 1~5, 9
- 86 付立新,周宝仙. 黄骅坳陷南区古生界天然气聚集的构造约束条件[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(4): 254~259
- 87 杨克绳,党晓春,戴福贵. 渤海湾盆地及周边的古生古储油气藏——以双洞背斜古油藏与刘其营、苏桥潜山油气藏为例[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 27~32
- 88 陈国达,费宝生. 任丘潜山油田的基本地质特征及其形成的大地构造背景[J]. 石油实验地质, 1993, 5(4): 241~249
- 89 余家仁,雷怀玉,刘趁花. 试论海相碳酸盐岩储层发育的影响因素——以任丘油田雾迷山组为例[J]. 海相油气地质, 1998, 3(1): 39~48
- 90 马立驰,王永诗,吕建波. 济阳坳陷下古生界潜山内幕油气藏勘探[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 26~27
- 91 魏喜,祝永军,赵国春,等. 辽河坳陷曙光古潜山古生代储层储集空间特征及演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 467~471
- 92 李春林,刘立,王丽. 辽河坳陷东部凹陷火山岩构造裂缝形成机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(S1): 46~50
- 93 罗海炳,付秋萍. 辽河滩海燕南潜山带中生界火成岩储层预测及勘探潜力初探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 35~39
- 94 刘传虎,任建业. 济阳坳陷非碳酸盐岩潜山油气藏[M]. 北京:石油工业出版社, 2006. 87~108

(编辑 李 军)