文章编号:1673-5005(2017)06-0020-10

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2017.06.003

济阳坳陷太古界潜山储集体发育模式

张鹏飞1,刘惠民1,王永诗1,曹忠祥2,贾光华1,韩 敏1

(1. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营 257015;

2. 中国石化胜利油田分公司油气勘探管理中心,山东东营 257001)

摘要:为了建立济阳坳陷太古界潜山储集体发育模式,综合运用岩心、测井、试油及露头资料对太古界储集体微观储 集空间及宏观分布规律进行研究,认为太古界潜山发育了风化壳和内幕两套储集体,两类储集体形成的主控因素及 发育特征有差异。结果表明:风化壳储集体主要受控于断裂改造程度、岩石矿物组成与风化体保存程度等三大因 素,潜山顶面岩石矿物组成的差异影响风化壳储集体的平面分布,断裂改造则影响了风化壳储集体的纵向规模,而 风化体保存程度控制了风化壳储集体的最终储集性能。内幕储集体主要受控于构造改造程度、岩石矿物组成、潜山 岩石结构等三大因素,济阳坳陷太古界潜山岩石矿物组成差异较小,构造改造程度为控制内幕储集体发育程度的最 关键性因素,潜山岩石结构为重要的调节性因素。

关键词:储集体;太古界;内幕;风化壳;济阳坳陷

中图分类号:TE 121.2 文献标志码:A

引用格式:张鹏飞,刘惠民,王永诗,等.济阳坳陷太古界潜山储集体发育模式[J].中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(6):20-29.

ZHANG Pengfei, LIU Huimin, WANG Yongshi, et al. Development model of Archaeozoic buried hill reservoir in Jiyang Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(6):20-29.

Development model of Archaeozoic buried hill reservoir in Jiyang Depression

ZHANG Pengfei¹, LIU Huimin¹, WANG Yongshi¹, CAO Zhongxiang², JIA Guanghua¹, HAN Min¹

(1. Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257015, China;

2. Exploration Management Department of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257001, China)

Abstract: To establish the reservoir development model of the Archaeozoic buried hill in Jiyang Depression, the microscopic reservoir space and macro distributions of the Archaeozoic reservoir were studied using an integrated analysis of cores, well log data, well testing data and outcrops. It is proposed that the Archaeozoic buried hill has a weathering crust reservoir and an inner buried hill reservoir, with distinct differences in the main controlling factors and development characteristics. The results show that the development level of the weathering crust reservoir is controlled by the deformation degree of the structure, mineral composition and preservation degree of the weathering crust. The difference in the mineral composition of the top surface of the buried hill influenced the horizontal distribution of the weathering crust reservoir. The development degree of the faults influenced the longitudinal scale of the weathering crust reservoir. However the preservation degree of the weathering crust is controlled by the deformation degree of the weathering crust is controlled by the deformation degree of the structure, mineral composition and preservation degree of the structure, mineral composition degree of the weathering crust reservoir. However the preservation degree of the weathering crust is controlled by the deformation degree of the structure, mineral composition and rock structure of buried hill. The Archaeozoic buried hills in Jiyang Depression show little difference in the mineral composition. The deformation degree of the structure is the determining factor which controls the development degree of the inner buried hill reservoir. The rock structure of the buried hill is mainly a regulatory factor.

收稿日期:2017-02-18

Keywords: reservoir; Archaeozoic; inner buried hill; weathering crust; Jiyang Depression

与成层性较好的沉积岩潜山相比,太古界潜 山由于其岩石构成以岩浆岩、变质岩为主[1].故潜 山内部结构、构造更加复杂多变,这一特征为太古 界潜山储集体形成机制、分布规律研究提出了严 峻挑战。钻井证实,济阳坳陷太古界以混合花岗 岩类为主,同时还发育了少量变质岩包体^[2]。岩 石特征与华北、东北地区太古界基本一致[3],但也 有少量报道指出个别地区太古界发育大量副变质 岩,如张家口--大同一带的早太古代孔兹岩系露 头[4],这可能与太古宇地壳增生、岩浆构造热事件 在不同地区的强弱差异有关。正是这种复杂的潜 山岩石结构使济阳坳陷太古界储集体不具备层状 特征,故本文中称之为"储集体"。除风化壳储集 体外,很多学者指出太古界潜山还发育了潜山内 幕储集体^[5],内幕储集空间以构造裂缝为主^[6]。 多数观点认为自潜山顶面向下储集物性逐渐变 差^[7-8]。太古界储集体发育的影响因素包括构造 运动、岩石组成、风化淋滤等^[9]。总之,前人针对 太古界潜山储集体开展了大量研究工作,但目前 还没有提出一套对太古界潜山勘探部署具有指导 作用的储集体发育模式。笔者近年来对济阳—鲁 西地区太古界进行持续研究,探讨济阳坳陷太古 界潜山储集体发育模式。

1 地质背景

济阳坳陷是在前寒武系结晶岩和古生界碳酸盐 岩及含煤碎屑岩组成的稳定地台基础上发展起来的 中、新生代陆相断陷湖盆^[10]。太古界作为盆地基底 经历印支、燕山等多期构造事件叠加改造,形成了埕 北、埕东、义和庄、郑家—王庄等十大潜山带(图1, 据姜慧超等修改^[11])。截至目前,济阳坳陷有520 口井钻遇太古界,其埋深变化大,从数百米至五千余 米不等;因其为非重点勘探层系,太古代岩石揭露普 遍较薄,最厚者仅约1000 m。

基于70口取心井千余块薄片资料,将太古代 岩石划分为两大类,第一种为泰山岩群区域变质 岩,为一套沉积-火山建造经受中压角闪岩相区域 变质形成的岩系,济阳坳陷残留很少,呈包体状产 出,岩石类型主要包括黑云角闪变粒岩及斜长角 闪岩类;第二种为新太古代岩浆构造活动形成的 岩浆岩,主要包括二长花岗岩、钾长花岗岩、片麻 状花岗岩类及片麻状闪长岩类等。根据鲁西露头 区太古界相变规律和钻井资料,济阳坳陷太古界 分布具有如下特征:区域变质岩系主要位于西部 宁津凸起地区;西南部惠民凹陷发育含大量中基 性包体的花岗岩体;向东至东营凹陷—义和庄凸 起—车西一线包体数量大幅减少,局部发育较小 规模闪长岩岩体;埕北—桩西地区为多期次多类 型岩体发育区,除普遍发育的二长花岗岩外,闪长 岩、正长花岗岩岩体规模也较大(图2)。



Fig. 1 Tectonic sketch map of Luxi and Jiyang area

2 储集空间发育特征

济阳坳陷太古界构成主要为混合花岗岩类及古 老变质岩系,原岩非常致密,几乎不发育原生孔隙, 孔隙度仅为0.3%~0.7%。太古界储集体储集空 间基本都为次生,主要包括次生溶孔和裂缝,裂缝又 可分为机械风化成因的网状缝、溶蚀扩大缝和构造 裂缝(图3)。钻井证实上述多类型储集空间在太古 界潜山中的发育具有一定规律性。受潜山暴露期大 气淡水淋滤、地表温度变化等地质营力影响,次生溶 孔和机械风化缝主要发育于潜山顶部储集体。而构 造裂缝与溶蚀扩大缝分布则较为普遍,随着距潜山 顶面距离的逐渐增大,潜山内部由于受地表地质营 力影响小,故构造裂缝与溶蚀扩大缝为其主要储集 空间。



图 2 济阳坳陷太古界岩性分区

Fig. 2 Lithologic zoning of Archean Group in Jiyang Depression



(a)盐5井,1300.8 m,溶蚀孔洞(距潜山顶15 m)



(b)郑606井,1306.5 m, 机械风化网状缝 (距潜山顶6 m)



(c)郑362井, 1 230.40 m, 不规则风化缝 (距潜山顶14 m)



(d)埕古19井, 2 776.7 m, 高角度构造缝 (距潜山顶994 m)



(e)埕北古100井,2675.4m,高角度裂缝, 沿裂缝串珠状溶蚀(距潜山顶90m)



(f)车古26井,3743m,成组发育的低角度 构造缝(距潜山顶60m)

图 3 太古界潜山主要储集空间类型

Fig. 3 Main reservoir space types of Archaeozoic buried hills in Jiyang Depression

3 储集体测井响应特征

基于多类型储集空间发育规律,在纵向上将太 古界潜山划分为风化壳和内幕两种储集体。成像测 井资料揭示风化壳储集体普遍发育溶蚀增强高导缝 (图4(a)),而内幕储集体则主要发育连续或不连 续高导缝(图4(b)),次生溶蚀现象较少。运用岩 心、成像测井对常规测井资料进行标定,明确了两类 储集体常规测井响应特征的差异性。通常位于风化 壳储集体最顶部的风化--破碎储集带井径曲线幅度 大,为连续的大井径段;声波时差曲线呈锯齿状,幅 度变化较大;岩石体积密度曲线呈短小锯齿状,幅度 逐渐变小;中子孔隙度逐渐增大,呈锯齿状,为连续 的高孔隙段(图5)。向下进入风化壳储集体下部,







Fig. 5 Longitudinal distribution of Archaeozoic buried hills reservoir in Jiyang Depression

其井径曲线表现为高、低幅度交替变化的特点,高幅

度为大井径段,是岩石破碎发育部位,反之则为破碎 轻微部位;声波时差曲线呈短小锯齿状,幅度变化不 等,在岩石破碎部位发生"周波跳跃";岩石体积密度 幅度在破碎部位变小,其形态呈刺刀状;中子孔隙度 在岩石破碎较弱部位曲线趋于平直。再向下进入潜 山内幕致密带,井径曲线幅度变化小,呈平直状;声波 时差曲线幅度变化大,趋于平直;岩石体积密度大;中 子孔隙度曲线呈平直状态,或因岩性变化而略有起 伏,但数值低。部分揭示太古界厚度较大的探井,当 在潜山内幕钻遇储集体时,井径曲线显示扩径程度相 对较低,声波时差变化剧烈,有"跳跃"现象,密度有微 弱降低,中子孔隙度曲线呈"尖峰状",值较高。

4 储集体发育控制因素

综合分析济阳及周边太古界储集体发育规律, 同时结合前人关于太古界储层控制因素的认识,认 为太古界储集体的发育主要受控于构造改造程度、 岩石矿物组成、潜山岩石结构与风化体保存程度等 4 个控制因素。但不同类型的储集体,其影响因素 也存在差异。

4.1 潜山内幕储集体

潜山内幕储集体主要受控于构造改造程度、岩 石矿物组成、潜山岩石结构等三大因素。其中潜山 岩石矿物组成为基础性因素,通过对 272 块太古界 岩石薄片观察发现,从二长花岗岩到钾长花岗岩,再 到闪长岩类,裂缝发育程度依次变差(表1)。

已有研究表明,裂缝发育潜力主要决定于岩石脆性。用实验所测脆性系数定量反映岩石脆性,脆性系数为最大弹性应变与临界状态时总应变的比值。6 口井16块不同岩石样品的岩石力学测试数据表明二 长花岗岩脆性系数最大,其次为花岗闪长岩和钾长花 岗岩,英云闪长岩和斜长角闪岩脆性系数最小(图 6)。测试结果与裂缝统计结果基本一致,表明岩石矿 物组成为储集体发育的重要控制因素之一。

表1 济阳坳陷太古界主要岩石类型裂缝统计

Table 1Fractrue statistics of main rock typesof Anhaeozoic in Jiyang Depression

岩石 类型	统计 井数/ 口	薄片 统计 数量	见裂缝 薄片比 例/%	最大裂 缝数/ 条	最小裂 缝数/ 条	平均裂 缝数/ 条
钾长花岗岩	5	28	46.4	125	2	15
二长花岗岩	15	149	66.4	110	1	26
闪长岩类	9	95	44.1	60	1	11

潜山岩石结构为潜山内幕储集体发育的重要影 响因素。试验数据证实整体状岩体结构强度大,层 状结构岩体强度小、易于形成裂缝^[12]。前人对沉积 岩的裂缝发育规律研究证实,岩石单层厚度控制裂 缝密度,裂缝密度与层厚呈负相关性[13-15],这一普 遍规律应同样适用于太古代岩石。就太古界潜山而 言,浅色岩相与暗色岩相组成的互层状潜山其形成 裂缝的潜力要好于大型的块状潜山。脆性不同的岩 石互层搭配有利于后期的构造改造,可在潜山内幕 形成较大规模储集体。钻井取心收获率是反映储层 裂缝发育程度的一个重要参考数据,通常收获率越 低,说明裂缝发育程度越高。通过对系统取心井 Z4-2井岩心的观察发现,不同岩相组合取心收获率 差异很大。其中花岗岩与闪长岩互层相发育段的收 获率最低,平均仅有约50%,其次为花岗岩夹闪长 岩或夹角闪岩相,收获率最高的为单一闪长岩相或 闪长岩夹花岗岩相(图7)。这一特征充分说明潜山 岩石结构是内幕储集体发育的一个重要影响因素。



图 6 济阳坳陷典型太古代岩石脆性系数对比









构造改造程度为控制内幕储集体发育的最关键 因素。辽河坳陷兴隆台潜山之所以发育大型潜山内 幕储集体,是由其所处区域中新生代以来强烈的构 造活动所决定的。潜山所处区域的构造活动强度可 用区域差应力值来反映。前人研究表明板块碰撞带 或大断层附近差应力值增大,而在板块内部则逐渐 变小^[16],与济阳坳陷及鲁西地区相比,辽河坳陷所 处的位置更靠近于郯庐断裂带。对比前人通过超显 微构造估算法得出的各期构造事件区域差应力值, 辽河及周缘地区普遍大于济阳及邻区^[17](表2)。 因此,区域构造活动强弱的差异可能是导致济阳太 古界潜山内幕储集体发育规模、储集性能不及兴隆 台潜山的一个重要原因。其次,就济阳坳陷内部而 言,东部靠近郯庐断裂带的区域,如埕北潜山、桩西 潜山,无论是从潜山宏观断裂发育程度还是从潜山 储集体裂缝发育程度,均明显好于西部的郑家—王 庄潜山。这些现象都说明构造改造程度为控制内幕 储集体发育的最关键因素。

表 2 不同构造期辽河周缘地区与济阳周缘地区差 应力值对比

 Table 2
 Comparison of difference stress value between

 Liaohe area and Jiyang area

构造期	辽河及周缘地区	济阳及鲁西地区
燕山中期	吉林大黑山:112.5 MPa	山东蒙阴:82.6 MPa
燕山晚期	吉林大黑山:102.1 MPa 辽宁阜新:94.2 MPa	山东西部:77.8 MPa
喜山 I 幕	辽河油田:72.8 MPa	济阳坳陷:43 MPa

4.2 潜山风化壳储集体

风化壳储集体主要受控于构造改造程度、岩石矿 物组成与风化体保存程度等三大因素,此处重点分析 风化体保存程度对风化壳储集体的控制作用。太古 界在构造运动中抬升至地表,经历表生阶段机械风 化、大气淡水淋滤等多种物理化学作用,形成潜山风 化壳,本文中暂将表生阶段所经历的所有物理化学过 程统称为风化改造作用。前人针对与太古界岩石特 征类似的火山岩风化壳进行的大量研究表明,风化淋 滤时间达到约45 Ma时,风化体厚度趋于稳定^[18-20], 而太古界风化淋滤时间非常漫长,即使从印支运动起 始,风化淋滤时间也达到了49~208 Ma(表3),因此 影响太古界风化壳储层的关键是风化体的后期保存。

针对太古界风化壳发育特征,在鲁西地区进行 了专项野外考察,在章丘、临朐、沂源等地筛选了 8 个观测点进行风化壳发育特征观测(表4)。野外观 测表明,可以将太古界风化壳自上而下划分为风化 成因土壤层、强风化带和弱风化带 3 个层段(图8)。 土壤层以次生矿物为主,成土状,厚度 0.3~5 m 不 等;强风化带主体岩石风化强、疏松,锤轻击便碎,网 状风化缝、溶缝孔较发育,见风化较强的碎块(形状 有角砾状、块状、片状等),该带厚度 0.5~20 m 不 等;弱风化带主体岩石呈浅灰色,风化弱、较致密,见 风化较强的碎块(形状以块状为主),捶击不易打 碎,风化缝孔少见,仅见不同方向、不同角度节理缝。 该带厚为 10~20 m。

表 3 济阳坳陷典型太古界潜山风化改造时间

 Table 3
 Weathering modification time of typical

 Archaeozoic buried hills in Jiyang Depression

Archaeozoie buried mils in Jiyang Depression						
典型潜山带	潜山上覆地层	距今年 松 (Ma	与中三叠世末期			
		M₹/ Ma	可回左/ Ma			
垦东	侏罗系坊子组	173	49			
埕北 30	侏罗系坊子组	173	49			
孤东	侏罗系坊子组	173	49			
桩西	侏罗系坊子组	173	49			
埕东	侏罗系坊子组	173	49			
高青	侏罗系坊子组	173	49			
平方王	古近系孔店组	53	169			
义和庄	古近系沙四段	45	177			
郑 4	古近系沙四段	45	177			
富台	古近系沙三段	40	182			
青坨子	新近系馆陶组	14	208			
滨县	新近系馆陶组	14	208			
郑家—王庄	新近系馆陶组	14	208			
胜坨—盐家	新近系馆陶组	14	208			
广饶	新近系馆陶组	14	208			

覆盖区测井资料表明,不同潜山部位太古界风 化壳结构有明显差异,潜山顶面坡度影响风化壳储 层保存。平缓潜山面有利于风化体保存,风化体结 构完整,储集性能较好。如郑家潜山顶部的郑古1 井(图9),在潜山顶面钻遇良好储层,试油获液量 72.2 m³。断剥面坡度陡,则不利于风化体保存,往 往缺失土壤层及部分强风化带,因此储集性能较差, 如位于胜坨潜山断坡的坨137 井(图9),在进入潜 山后钻遇干层或差储层,试油仅获液量 0.34 m³。 对不同潜山不同部位47 口井的试油资料统计发现, 平缓潜山顶面的太古界储集体,其储集性能普遍优 于陡峭的潜山斜坡(图 10)。

表4 鲁西地区风化壳物	诗征观测点位置
-------------	----------------

岩
长岩
岩



图 8 山东沂源太古界风化壳储集体纵向结构特征

Fig. 8 Vertical structure characteristics of Archaeozoic weathering crust reservoir in Yiyuan, Shandong Province









5 储集体发育模式

5.1 内幕储集体发育模式

在分析内幕储集体发育控制因素的基础上,建 立了内幕储集体发育模式(图 11)。济阳坳陷太古 界潜山内幕储集体发育主要受构造改造程度和内幕 断层控制,济阳东部构造改造强的潜山,内幕储集体 较为发育,如埕北潜山。内幕断层上盘可形成优质 内幕储集体,对断层下盘改善作用较小。潜山结构 是内幕储集体形成的重要影响因素。济阳坳陷太古 界以混合花岗岩类为主,但闪长岩及角闪岩等暗色 岩相发育有差异,这种差异造成了平面上不同潜山 带潜山结构的差异性,暗色岩相夹层或包体较多的 潜山带,潜山结构好,有利于内幕储集体发育;岩性 单一的潜山,结构较差,储集体发育也较差。在构造 改造程度同等的情况下,结构较好的潜山形成内幕储 集体的潜力要高于结构差的潜山。因此就潜山内幕 储集体而言,构造改造程度为控制储集体发育的最关 键性因素,潜山岩石结构为一种重要调节性因素。





Fig. 11 Development model of Archaeozoic inner buried hill reservoir in Jiyang Depression

5.2 风化壳储集体发育模式

在分析太古界风化壳储集体发育控制因素的基础上,建立了风化壳储集体发育模式(图12)。潜山顶部岩相特征差异,造成了风化壳储集体在横向上发育程度的差异。暗色矿物为主的岩相(闪长岩或







角闪岩包体)发育区储集性能往往较差。断裂发育 程度往往决定了风化壳储集体在纵向上的发育厚 度,大型断裂对风化壳储集体的改善作用非常明显, 往往可形成厚度大、储集性能好的风化壳储集体,尤 其对断层的上盘物性改善作用很大,如郑4潜山。 风化体保存程度是风化壳储集体储集性能优劣的最 终决定因素,潜山顶面较为平缓的区域,风化体的三 层结构保存较为完整,储集性能较好,坡度较为陡峭 的区域,由于风化体保存较差,储集性能一般或较 差。整体而言,潜山顶面岩石矿物组成差异影响风 化壳储集体的平面分布,断裂改造则影响风化壳储 集体的纵向规模,风化体保存程度则控制了风化壳 储集体的最终储集性能。

6 结 论

(1)济阳坳陷太古界潜山发育了风化壳和潜山 内幕两类储集体,构造裂缝在两类储集体中普遍发 育,而机械风化缝与次生溶蚀孔洞主要发育于风化 壳储集体。

(2)潜山内幕储集体主要受控于构造改造程 度、岩石矿物组成、潜山岩石结构等三大因素,济阳 坳陷太古界潜山岩石矿物组成差异较小,构造改造 程度为控制内幕储集体发育程度的最关键性因素, 潜山岩石结构为一种重要的调节性因素。

(3)风化壳储集体主要受控于断裂改造程度、 岩石矿物组成与风化体保存程度等三大因素,潜山 顶面岩石矿物组成差异影响风化壳储集体的平面分 布,断裂改造则影响风化壳储集体纵向规模,而风化 体保存程度则控制了风化壳储集体的最终储集性 能。

参考文献:

- [1] 史浩,周心怀,孙书滨,等. 渤海 JZS 潜山油藏储层发育 特征研究[J]. 石油地质与工程,2008,22(3):26-32.
 SHI Hao, ZHOU Xinhuai, SUN Shubin, et al. Reservoir characteristics of JZS buried hill oil pool in Bohai Sea
 [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008,22(3): 26-32.
- [2] 张鹏飞,刘惠民,曹忠祥,等.太古宇潜山风化壳储层 发育主控因素分析:以鲁西—济阳地区为例[J].吉林 大学学报(地球科学版),2015,45(5):1289-1298.
 ZHANG Pengfei, LIU Huimin, CAO Zhongxiang, et al. Analysis on main controlling factors of Archaeozoic weathering crust reservoir: with Jiyang and Luxi Area as an example[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition),2015,45(5):1289-1298.
- [3] 张家辉,金巍,王亚飞,等. 鞍山地区太古宙早期地壳 生长及重熔:来自始—古太古代片麻岩杂岩的岩石学 及年代学证据[J]. 地质学报,2015,89(7):1195-1209.
 ZHANG Jiahui, JIN Wei, WANG Yafei, et al. Early Archaean crustal growth and re-melting in the Anshan area: evidence from Petrology and Geochronology of the Eo-Paleoarchean Gneiss Complex [J]. Acta Geologica Sinica, 2015,89(7):1195-1209.
- [4] 翟明国,郭敬辉,阎月华,等.太古宙克拉通型下地壳 剖面:华北怀安--丰镇--尚义的麻粒岩--角闪岩系

[J]. 岩石学报,1996,12(2):222-238.

ZHAI Mingguo, GUO Jinghui, YAN Yuehua, et al. An oblique cross section of Archaean continental crust in Shanxi-Hebei-Nei Mongol Jnnctnve Area, North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(2):222-238.

[5] 孟卫工,陈振岩,李湃,等. 潜山油气藏勘探理论与实践:以辽河坳陷为例[J]. 石油勘探与开发,2009,36
 (2):136-143.

MENG Weigong, CHEN Zhenyan, LI Pai, et al. Exploration theories and practices of buried-hill reservoirs: a case from Liaohe Depressions [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009,36(2):136-143.

[6] 周廷全,郭玉新,孟涛,等.济阳坳陷太古界岩浆岩常规测井综合识别[J].油气地质与采收率,2011,18
 (6):37-41.

ZHOU Tingquan, GUO Yuxin, MENG Tao, et al. Study on Archaean magmatic rocks in Jiyang depression and its conventional logging recognition [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(6):37-41.

- [7] 刘海艳,王占忠,刘兴周.海外河地区变质岩潜山储层特征研究[J].断块油气田,2009,16(6):37-39.
 LIU Haiyan, WANG Zhanzhong, LIU Xingzhou. Characteristics of metamorphic buried hill reservoir in Haiwaihe Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009,16(6):37-39.
- [8] 邹华耀,赵春明,尹志军. 辽东湾 JZS 潜山变质岩风化 壳识别及储集特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26 (4):599-607.

ZOU Huayao, ZHAO Chunming, YIN Zhiju. Development and distribution of the metamorphite-weathering crust and its feature of reservoir-property for the JZS Buried Hill, Liaodongwan Area[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26 (4):599-607.

[9] 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.

> ZHOU Xinhuai, XIANG Hua, YU Shui, et al. Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS-Neo-Archean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6):17-20.

- [10] 李丕龙,张善文,王永诗,等.多样性潜山成因、成藏 与勘探:以济阳坳陷为例[M].北京:石油工业出版 社,2003.
- [11] 姜慧超,张勇,任凤楼,等.济阳、临清坳陷及鲁西地 区中新生代构造演化对比分析[J].中国地质,2008, 35(5):963-974.

JIANG Huichao, ZHANG Yong, REN Fenglou, et al. Comparative analysis of Meso-Cenozoic tectonic evolutions of the Jiyang and Linqing Depressions and Luxi area [J]. Geology in China, 2008, 35(5):963-974.

- [12] 程良奎,段振西,刘启琛,等. 锚杆喷射混凝土支护技 术规范:GB50086-2001[S]. 北京:中国计划出版社, 2001:1-27.
- [13] 王瑞飞,吕新华,国殿斌,等.东濮凹陷三叠系砂岩油 藏裂缝特征及主控因素[J].吉林大学学报(地球科 学版),2012,42(4):1003-1010.
 WANG Ruifei,LÜ Xinhua,GUO Dianbin, et al. Fracture characteristics and main control factors of Triassic sand reservoir in Dongpu Sag[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition),2012,42(4):1003-1010.
- [14] 周进松,童小兰,冯永宏.柴窝堡背斜储层构造裂缝 发育特征及控制因素[J].石油学报,2006,27(3):53-56.

ZHOU Jinsong, TONG Xiaolan, FENG Yonghong. Development characteristics and control factors for reservoir fracture in Chaiwopu anticline of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2006,27(3):53-56.

[15] 刘金华,杨少春,陈宁宁,等.火成岩油气储层中构造
 裂缝的微构造曲率预测法[J].中国矿业大学学报,
 2009,38(6):815-819.

LIU Jinhua, YANG Shaochun, CHEN Ningning, et al. Forecasting method of tectoclase in the igneous reservoirs using a curvature of the microtectonics [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38 (6):815-819.

 [16] 万天丰,赵维明.论中国大陆的板内变形机制[J].地 学前缘,2002,9(2):451-462.
 WAN Tianfeng, ZHAO Weiming. On the mechanism of intraplate deformation in Chinese continent[J]. Earth

Science Frontiers, 2002,9(2):451-462. [17] 万天丰,曹秀华.中国三叠纪中晚期—早更新世构造 应力值的估算[J].地球科学——中国地质大学学 报,1997,22(2):145-152.

> WAN Tianfeng, CAO Xiuhua. Estimation of differential stress magnitude in middle-late triassic to early Pleistocene for China[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(2):145-152.

[18] 张奎华,林会喜,张关龙,等.哈山构造带火山岩储 层发育特征及控制因素[J].中国石油大学学报(自 然科学版),2015,39(2):16-22.

> ZHANG Kuihua, LIN Huixi, ZHANG Guanlong, et al. Characteristics and controlling factors of volcanic reservoirs of Halaalate mountains tectonic belt[J]. Journal of

China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(2):16-22.

[19] 何辉,李顺明,孔垂星,等. 准噶尔盆地西北缘二叠系 佳木河组火山岩有效储层特征与定量评价[J]. 中国 石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):1-12.

> HE Hui, LI Shunming, KONG Chuixing, et al. Characteristics and quantitative evaluation of volcanic effective reservoir in Jiamuhe Formation of Permian, northwestern margin of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016, 40

(2):1-12.

[20] 候连华,罗霞,王京红,等.火山岩风化壳及油气地质 意义:以新疆北部石炭系火山岩风化壳为例[J].石 油勘探与开发,2013,40(3):257-265.
HOU Lianhua, LUO Xia, WANG Jinghong, et al. Weathered volcanic crust and its petroleum geologic significance: a case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang [J]. Petroleum Exploration and Development,2013,40(3):257-265.

(编辑 修荣荣)