

文章编号: 1000 0747(2005) 06 0017 04

渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素

周心怀^{1,2}, 项华^{1,2}, 于水², 王刚², 姚长华³

(1. 中国地质大学(北京); 2. 中国海洋石油有限公司天津分公司; 3. 中国海洋石油有限公司渤海石油研究院)

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2003BA613A05)

摘要: 渤海海域辽西低凸起锦州南(JZS)太古宇变质岩油藏是渤海海域最大的潜山油藏, 岩性以片麻岩及其形成的碎裂岩为主。根据全井眼地层微电阻率扫描测井(FMI)及常规测井信息, 将该变质岩潜山油藏储集层划分为 4 类: ①网状缝溶孔型; ②角砾状破碎型; ③溶蚀裂缝型; ④微裂缝致密型。JZS 油藏变质岩储集层发育经历了成岩阶段→前埋藏阶段→抬升剥蚀褶皱断裂阶段→表生阶段→后埋藏阶段, 主要控制因素为新生界沉积前古地貌及中、新生代构造应力作用, 风化残积物主要分布于局部高点的宽缓斜坡区, 构造作用、表生期的风化淋沥作用和油气充注期有机酸溶解作用等对储集层形成与演化具有重要影响。JZS 油藏变质岩储集层的演化模式对类似潜山油藏的勘探和开发方案设计具有借鉴意义。图 6 参 7

关键词: 渤海海域; JZS 油藏; 变质岩潜山油藏; 储集层特征; 控制因素; 演化模式

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

1 地质概况

JZS 油(气)田位于辽东湾海域辽西低凸起中北段, 为辽西 1 号、辽西 2 号、辽西 3 号区域大断层的交汇区, 西侧依靠辽西 1 号大断层与辽西凹陷相邻, 东侧向辽中凹陷下倾, 构造被辽西 2 号断层分割为东西两个高点(见图 1)。JZS 油(气)田是中国海洋石油有限公司天津分公司近期在辽东湾海域的重要勘探发现, 主力产层为沙二段砂岩和潜山太古宇变质岩, 是 2004 年为止渤海海域发现的最好的气田和最大的潜山油田。太古宇变质岩潜山油藏主要位于构造的东高点, 上覆沙三段泥岩^[1], 属风化体块状储集层地貌潜山^[2], 潜山顶面高点埋深海拔为 -1600m, 构造幅度 400m, 含油幅度大于 340m。岩心锆石-铀铅法同位素年龄测定为 25.2 亿 a 左右, 通过对比, 与辽河油田鞍山群变质岩相似, 时代为晚太古宙。

JZS 太古宇潜山油藏类型为正常温压系统、块状裂

缝性底水油藏, 地面原油密度 0.864~0.901g/cm³。

2 储集层发育特征

2.1 潜山岩石特征

统计 JZS 潜山油藏 7 口井钻井取心与旋转井壁取心的薄片岩矿鉴定分析结果发现, 本区太古宇岩性比较均一, 以浅灰色片麻岩及其形成的碎裂岩为主, 即以中粗粒二长片麻岩、中粗粒角闪黑云二长片麻岩、中粗粒黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻质碎裂岩及黑云二长片麻质碎裂岩为主要岩石类型, 夹少量黑云母千枚岩、花岗伟晶岩、二长花岗岩、片麻状花岗岩等岩脉。二长片麻岩和斜长片麻岩具有中—粗粒、片状—粒状变晶结构及弱片麻状—片麻状构造。二长片麻岩矿物成分中, 斜长石占 25%~50%, 钾长石占 20%~40%, 石英占 20%~25%, 黑云母占 5%~10%, 角闪石约占 2%~5%; 斜长片麻岩矿物成分中, 斜长石占 50%~70%, 钾长石占 5%~10%, 石英占 10%~20%, 黑云母约占 7%~10%, 角闪石约占 5%~10%。本区岩石矿物结晶较粗, 暗色矿物含量较低以及碎裂作用较强, 为储集层发育提供了良好的物质基础。

2.2 宏观构造裂缝特征

本区裂缝以构造裂缝为主, 叠加构造溶蚀扩大缝。由于太古宇潜山基岩破碎严重, 钻井取心收获率低, 取心较为系统的 2 号井收获率仅为 23%, 所以宏观裂缝特征代表的是储集层质量相对较差的层段。根据岩心观察、描述^[3], 本区太古宇变质岩储集层宏观裂缝具有以下特征。

宏观裂缝发育非均质性较强, 裂缝线密度为 4~



图 1 JZS 油气田区域位置图

160条/m,以50~150条/m为主(约占整体裂缝的67%);裂缝有效面孔率(面密度)一般为0.2%~3.41%,以0.5%~2.5%为主(约占整体裂缝的70%),仅有10%的储集层段面孔率大于2.5%;裂缝平均间距一般为0.9~2.8cm,以1~2cm为主(约占整体裂缝72%);裂缝平均宽度为0.3~1.2mm,以0.5~1mm为主(约占整体裂缝60%);裂缝倾角为15~80°,其中以45~60°高角度斜交缝为主^[4](约占整体裂缝的78%)。发育两组以上裂缝,储集层段裂缝总体呈网状分布,依据成像测井及倾角测井研究结果,裂缝走向一组为北北西南南东向,另一组为北东-南西向。

本区宏观裂缝中,张开裂缝占23%,半充填裂缝占29%,全充填裂缝占48%。全充填裂缝主要发育于宏观裂缝线密度小于50条/m的层段(见图2)。充填物主要为自形一半自形方解石和他形绿泥岩等黏土矿物,自形一半自形方解石从裂缝的两壁向裂缝中央生长,呈柱形晶体。半充填裂缝溶蚀改造现象明显,溶蚀改造裂缝面呈现锯齿状不规则形状,主要溶蚀改造早期充填的方解石矿物。

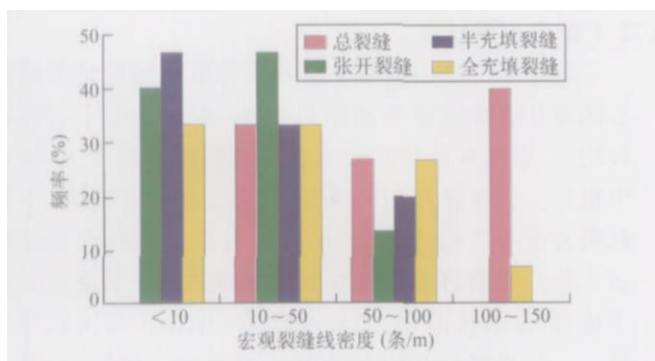


图2 JZS潜山宏观裂缝线密度分布图

2.3 储集空间类型及储集层物性特征

根据岩心观察和薄片镜下鉴定,JZS变质岩储集空间^[1]与其他变质岩油藏^[5]类似,主要是裂缝、溶蚀孔洞和微孔隙,以裂缝最多。由于JZS变质岩的裂缝系统较为发育,形成网状的空间体系,同时辅以相当数量的溶蚀孔洞和微孔隙,形成了较为理想的储集空间。另外,JZS变质岩潜山发现相当数量的碎裂岩和风化残积岩,其孔隙类型以类似砂砾岩粒间孔的块体间孔隙及其溶蚀扩大孔隙为主^[3]。

利用钻井取心与旋转井壁取心资料,在实验室系统分析了6口井113块小直径样品和8块全直径样品的孔隙度和渗透率。

与胜利油田的王庄太古宇变质岩油藏和辽河油田的东胜堡太古宇变质岩油藏^[2]相比,本区潜山变质岩储集层整体质量更优,但非均质性仍然十分明显。全

直径样品统计结果为:孔隙度为1%~11.7%,平均6.9%;渗透率差异更为突出,最小为0.074mD,最大为157mD,平均21.4mD。小直径样品统计结果:孔隙度为1%~28.8%,平均12.2%;渗透率最小为0.093mD,最大为3745.5mD。依据储集层物性频率分布特征,本区储集层孔隙度较高,小于4%的样品仅占18.6%,而大于7%的样品超过60%;渗透率相对较低,集中分布于0.1~10mD,但大于100mD的样品仍然占29.7%,测试平均日产高达300m³,压降小于5%,反证样品渗透率不具代表性。

2.4 储集层类型划分

利用井壁成像测井——全井眼地层微电阻率扫描测井(FMI)资料,结合常规测井信息^[9],将JZS变质岩储集层划分为4类:

①网状缝-溶孔型。井壁成像(FMI)反映溶孔非常发育,裂缝呈不规则网状(见图3);双侧向测井正差异明显;孔隙度测井表现为声波时差和中子测井值高,密度测井值低。该类储集层主要分布于潜山顶部50m范围内。

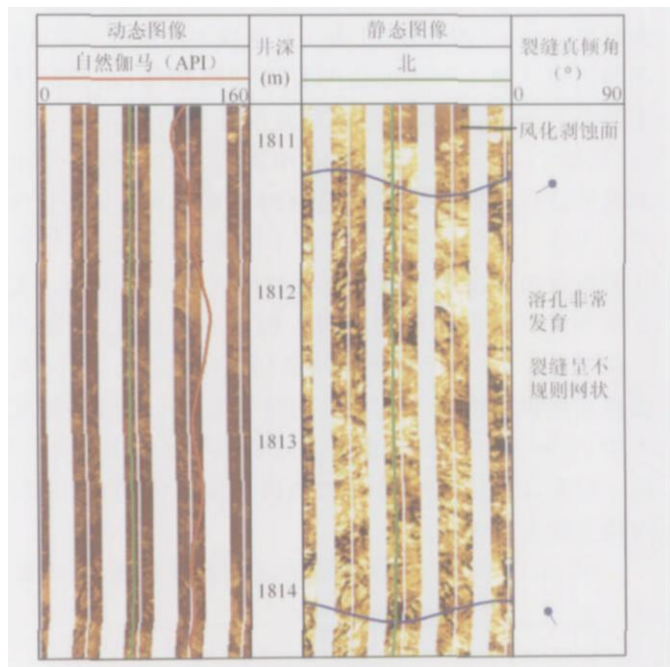


图3 JZS潜山网状缝-溶孔型储集层FMI图

②角砾状破碎型。FMI图像上呈破碎角砾状,且孔洞发育;常规测井表现为声波时差和中子测井值高,密度测井值低;双侧向电阻率值低且正差异大。该类储集层集中分布于靠近潜山内幕断层的潜山中上部及潜山顶面的风化残积岩层。

③溶蚀裂缝型。FMI图像上高角度缝或斜交裂缝发育,沿裂缝溶蚀现象明显,造成裂缝呈不规则宽窄变化或者溶孔、溶洞沿裂缝面分布。密度测井值较低,中子、

声波时差测井值较高, 双侧向电阻率低, 正差异明显。

④微裂缝 致密型。FMI 图像反映发育少量微裂缝或斜交缝。密度测井值降低不明显, 中子、声波时差测井值也低。

3 储集层发育主控因素

通过分析 JZS 太古宇变质岩潜山油藏储集层发育特征, 本区变质岩储集层发育与分布可能主要受控于潜山岩性、构造应力作用和前新生代古地貌等因素。

3.1 潜山岩性

如前所述, JZS 潜山岩性整体变化不大, 属片麻岩类及其碎裂岩类。本区片麻岩中长石及石英含量超过 80%, 二者均属脆性粒状矿物, 在多次构造应力作用下易产生裂缝及节理缝, 而暗色矿物为相对韧性矿物, 不易产生构造裂缝, 因而, 暗色矿物含量对储集层有一定的影响。研究本区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发现, 岩石暗色矿物含量与宏观裂缝有效面孔率呈消长关系, 且暗色矿物含量超过 15% 的岩石平均全充填宏观裂缝比例明显变大。因此认为, 暗色矿物含量是影响本区变质岩储集层发育质量的基本物质因素。

3.2 构造应力作用

JZS 太古宇经历了从太古宙晚期到第四纪的各种地质构造作用, 中、新生代为典型裂陷伸展期, 同时受郯庐断裂右旋走滑拉分作用的影响^[1,7], 使得辽西低凸起中、新生代最大主应力方向为北东向, 从而造就辽西低凸起受北东向展布的辽西 1 号、辽西 2 号、辽西 3 号大断层控制呈北东向分布(见图 1)。JZS 构造位于 3 条大断层交汇区, 构造应力释放为产生构造裂缝提供了有利的地质动力条件。成像测井与多属性地球物理信息裂缝模拟研究结果表明, JZS 变质岩储集层裂缝展布方向主要为与大断裂平行的北东 南西向和与大断层斜交的北北西 南南东向(见图 4)。此外, 潜山顶面及内幕近北西 南东向的局部断层对储集层改造尚有积极作用。

3.3 前新生代古地貌

JZS 太古宇变质岩潜山上覆沙三段泥岩, 沙三段沉积前的潜山古地貌对潜山储集层发育及分布具有主要的控制作用, 沙三段厚度与潜山古地貌高低呈镜像关系, 沙三段厚度超过 100m 的 5 号井储集层发育程度明显降低(见图 5), 且油气显示井段显著变浅。

新生界沉积前, 潜山的局部高点控制潜山储集层分布, 位于局部高点之间地堑区的储集层由于处在滞流带及以下, 裂缝容易被泥质及自生矿物充填从而变

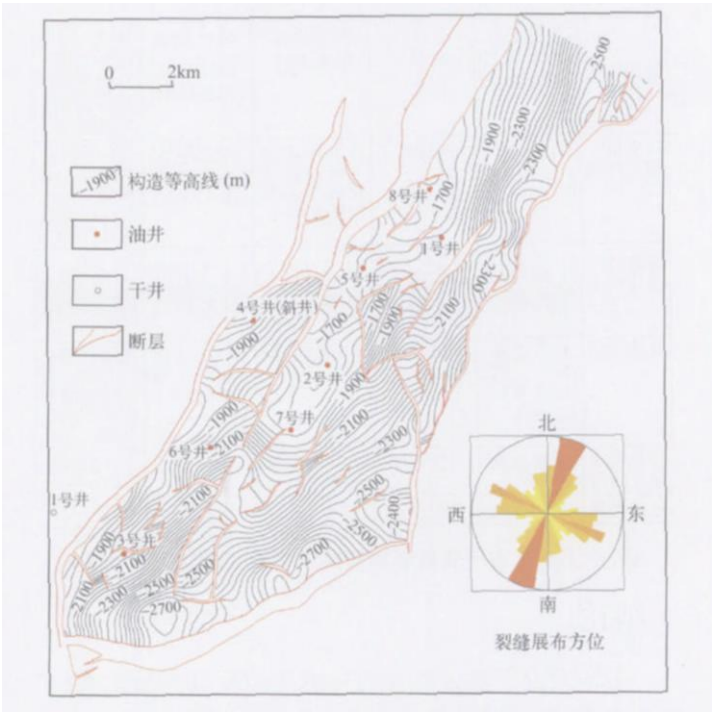


图 4 JZS 太古宇顶面构造图与裂缝展布方向

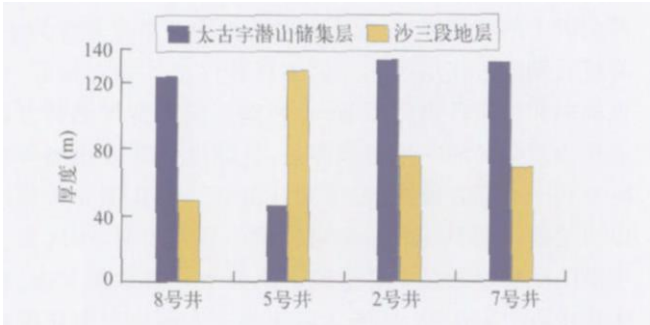


图 5 JZS 太古宇潜山储集层发育程度与沙三层段厚度关系图

为无效裂缝, 5 号井有效储集层净毛比小于其他井的 30% 且测试产量低佐证了该观点。风化残积物是变质岩潜山储集层中最好的储集层类型, 其孔隙类型以类似于砂砾岩粒间孔的块体间孔隙及其溶蚀扩大孔隙为主, 孔渗性十分优越。位于宽缓斜坡区的 7 号井发育厚 20m 的优质风化残积储集层, 而位于高点的 8 号井、2 号井该类储集层不发育, 表明风化残积物主要分布于局部高点相对较高位置的宽缓斜坡区, 而非构造顶部。然而, 对比分析 7 口井发现, 潜山强风化破碎带储集层发育程度受古地貌的影响相对较小, 这对开发井和今后调整井部署具有重要意义^[2]。

总之, JZS 太古宇变质岩储集层经历了成岩阶段→前埋藏阶段→抬升剥蚀、褶皱断裂阶段→表生阶段→后埋藏阶段(见图 6), 构造作用、表生期的风化淋沥作用和油气充注期有机酸溶解作用^[9], 对变质岩储集层形成与演化具有重要影响。

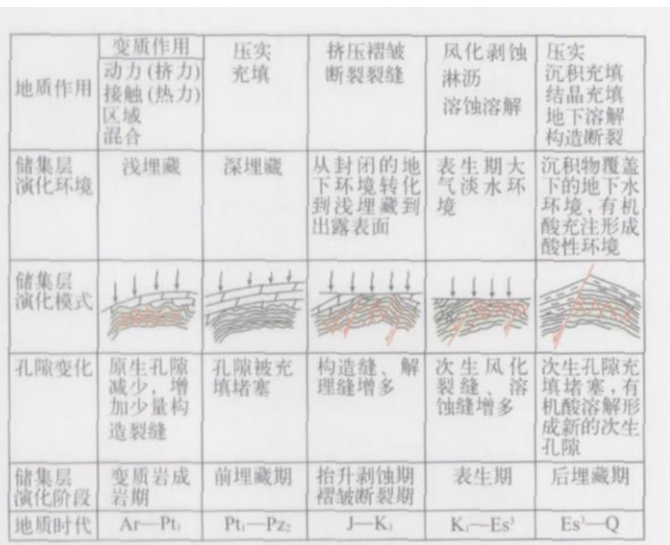


图6 JZS太古宇变质岩储集层演化图(据柏松章;修改)

4 结论

JZS太古宇潜山岩性为片麻岩类及其碎裂岩类,矿物结晶较粗、暗色矿物含量低、碎裂作用较强,为储集层发育形成提供了良好的物质基础;本区太古宇潜山发育两组以上网状裂缝,以北东向及北西向高角度裂缝为主,裂缝后期改造作用明显。储集层物性整体相对较好,但纵横向非均质性仍然显著,有利储集层在常规测井方面表现为双侧向测井正差异明显,孔隙度测井表现为声波时差和中子测井值高,密度测井值低。FMI测井资料可以清楚地识别不同的储集层类型。研究表明,本区太古宇潜山储集层发育主要受控于前新生代古地貌及中、新生代构造应力作用。JZS太古宇变质岩储集层演化模式对类似潜山勘探具有很好的借鉴作用。

本文研究得到中国海洋石油有限公司天津分公司邓运华副总经理、技术部经理夏庆龙和储集层地化项目徐长贵经理的指导和支 持,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 谷云飞, 方世虎, 徐怀民, 等. 辽河西部凹陷滩海地区古近系复合含油气系统特征与演化[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 69. (GU Yun fei, FANG Shi hu, XU Huai min, et al. Characters of Eocene composite petroleum system in the west sag of the beach area, Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 69.)
- [2] 柏松章, 唐飞. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. (BAI Song zhang, TANG Fei. The development models of buried hill fractured basement reservoirs[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.)
- [3] 张学汝, 陈和平, 张吉昌, 等. 变质岩储集层构造裂缝研究技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. (ZHANG Xue ru, CHEN He ping, ZHANG Ji chang, et al. The technology of study tectonic fractures on basement reservoirs[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998.)

- [4] 王允诚. 裂缝性致密油气储集层[M]. 北京: 地质出版社, 1992. (WANG Yun cheng. The fractured tight reservoirs evaluation [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.)
- [5] 傅强, 游瑜春, 吴征. 曹台变质岩潜山裂缝系统形成的构造期次[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 18 20. (FU Qiang, YOU Yu chun, WU Zheng. Tectonic episodes and reservoir fissure systems in Caotai metamorphic buried hill reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 18 20.)
- [6] 匡立春, 毛志强, 孙中春, 等. 基于新技术的油气藏测井综合评价[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 58 60. (KUANG Li chun, MAO Zhi qiang, SUN Zhong chun, et al. Reservoir synthetic evaluation based on new logging technology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 58 60.)
- [7] 单家增, 张占文, 孙红军, 等. 营口—佟二堡断裂带成因机制的构造物理模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 15 17. (SHAN Jia zeng, ZHANG Zhan wen, SUN Hong jun, et al. Modeling experiment of generation mechanism of Yingkou Tongerbu fracture zone in the Liaohe Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 15 17.)

第一作者简介: 周心怀(1970), 男, 江西宜丰人, 硕士, 中国海洋石油有限公司天津分公司技术部高级地质师, 现为中国地质大学(北京)博士研究生, 从事石油地质综合研究及储集层综合评价、预测工作。地址: 天津市塘沽区 609 信箱技术部, 邮政编码: 300452; 电话: (022) 25801421。E mail: zhouch3@cnoc.com.cn

收稿日期: 2004 11 19 修回日期: 2005 07 15

(编辑 唐金华 绘图 李秀贤、唐金华)

Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo Archean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea

ZHOU Xin hui^{1,2}, XIANG Hua^{1,2}, YU Shui², WANG Gang², YAO Chang hua³ (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Tianjin Branch, CNOOC Limited, Tianjin 300452, China; 3. Bohai Oil Research Institute, CNOOC Limited, Tianjin 300452, China)

Abstract: JZS is the biggest buried hill oil pool in the Liaoxi uplift of Bohai Sea area, with dominated light grey gneiss and cataclaste. The laboratory test reveals that reservoir properties of JZS buried hill are reasonably good, but still very heterogeneous. Reservoirs in this area can be classified into 4 types with FMI and porosity log information: ① network dissolved fracture reservoir; ② cataclaste reservoir; ③ dissolution fraction reservoir and ④ micro fracture tight reservoir. The Neo Archean metamorphic buried hill reservoir in the JZS underwent diagenetic period → pre buried → erosion deformation → hypergenesis → post buried period. The key controlling factors in JZS pool are Cenozoic palaeo-geomorphology and tectonic stress of Mesozoic and Cenozoic. The weathered eluvium is distributed in flat slopes of different highlands. Tectonic stress, weathering and dissolution during catagenesis, and organic acid dissolution during oil and gas infilling are the key to affect the evolution of metamorphic reservoir of the JZS oil pool. The evolutionary pattern of Neo Archean metamorphic reservoir of the JZS oil pool can be applied to similar buried hills in the Bohai Sea area.

Key words: Bohai Sea; JZS oil pool; reservoir characteristics; metamorphic reservoir; controlling factors; evolutionary pattern