

胜利海上埕岛油田前中生界 潜山构造演化及储层特征

于世娜,滕 飞,武群虎,余卫卫

(中国石化胜利油田分公司海洋采油厂,山东 东营 257237)

摘要:近年来,埕岛地区潜山勘探取得了重大进展,构造和储层条件控制了潜山油气的成藏和富集程度。通过对该区构造演化、储层的控制因素及其分布规律进行研究,进一步明确了潜山的构造演化过程对地层分布以及储层分布规律的作用。研究发现,埕岛潜山经历了长期的风化剥蚀和多期复杂的演化历程,储集空间类型多样,风化壳储层是潜山主要储集体,随着从风化面向下深度的增加,储层发育程度逐渐降低,内幕储层也有一定程度发育,内幕断层控制其分布。对埕岛油田潜山下一步勘探及渤海湾盆地潜山勘探有借鉴作用。

关键词:构造演化;储层特征;裂缝;溶蚀孔洞;埕岛油田

中图分类号:TE121.2

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2013)02-0345-07

引用格式:Yu Shina, Teng Fei, Wu Qunhu, *et al.* The structural evolution and reservoir characteristics of Pre-Mesozoic in Chengdao offshore oilfield of Shengli oilfield company[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 345-351. [于世娜, 滕飞, 武群虎, 等. 胜利海上埕岛油田前中生界潜山构造演化及储层特征[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 345-351.]

1 概况

胜利海上埕岛油田位于胜利油区东北部、渤海湾海域水深小于20m的浅海地区。构造上位于济阳拗陷埕北低凸起东南部,周围共有渤中凹陷、埕北凹陷、黄河口凹陷和沙南凹陷等4个生油凹陷(图1)。目前已发现7套含油层系——明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组、中生界、古生界和太古界,累计上报探明石油地质储量 $\times\times$ 亿吨,是胜利油田增储上产的主要阵地。

埕岛油田截至目前有35口井钻遇前中生界潜山,有 $\times\times$ 口井获工业油流,上报探明石油地质储量 $\times\times$ 万吨。多年的勘探开发实践表明,埕岛油田潜山油藏具有成藏条件好、油藏类型多、产量高的特点,是埕岛油田重要的勘探开发层系。潜山油藏主要受构造和储集空间发育程度的控制。由于前中生界潜山构造复杂,特别是存在大量的潜山内幕断层,并且地

层分布变化大,储层地质特征和油气成藏规律复杂,钻探风险大,因此搞清前中生界潜山的演化、构造、储层特征对指导潜山油藏勘探开发意义重大^[1-4]。

2 地质构造特征

2.1 地层沉积及层序

埕岛地区前中生界潜山主要发育太古界、下古生界寒武系、奥陶系、上古生界石炭系—二叠系。

太古界为一套区域变质岩—花岗片麻岩,是研究区最古老的地层,华北地台基底,主要出露点在盆地南部的蒙山凸起和北部的新甫凸起地区。太古代地壳形成后,火山喷发和岩浆侵入活动时时有发生,使得岩层产生区域性变质,形成了该区花岗片麻岩的基底。地壳消耗大量能量后,进入相对稳定期,遭受较长时间的风化剥蚀,因此保存不完整,留下了古剥蚀面和古风化壳,并缺失元古代沉积。

下古生界为海相沉积,研究区沉积了寒武系—

中奥陶统的碳酸盐岩类地层。随着海平面的升降和沉积环境的变化,沉积了形态各异的碳酸盐岩。其中,寒武系由于水动力的强弱、内源或陆源碎屑的不同等,形成了各具特征的碳酸盐岩类(鲕粒、竹叶、豹

皮灰岩等)。奥陶系为隐晶质灰岩、白云岩。各层组底部均以页岩(或钙质泥页岩、泥灰岩)做分界,横向分布较稳定,可对比性强。研究区内胜海古1井钻遇厚约1 324m 的下古生界,地层发育最全。

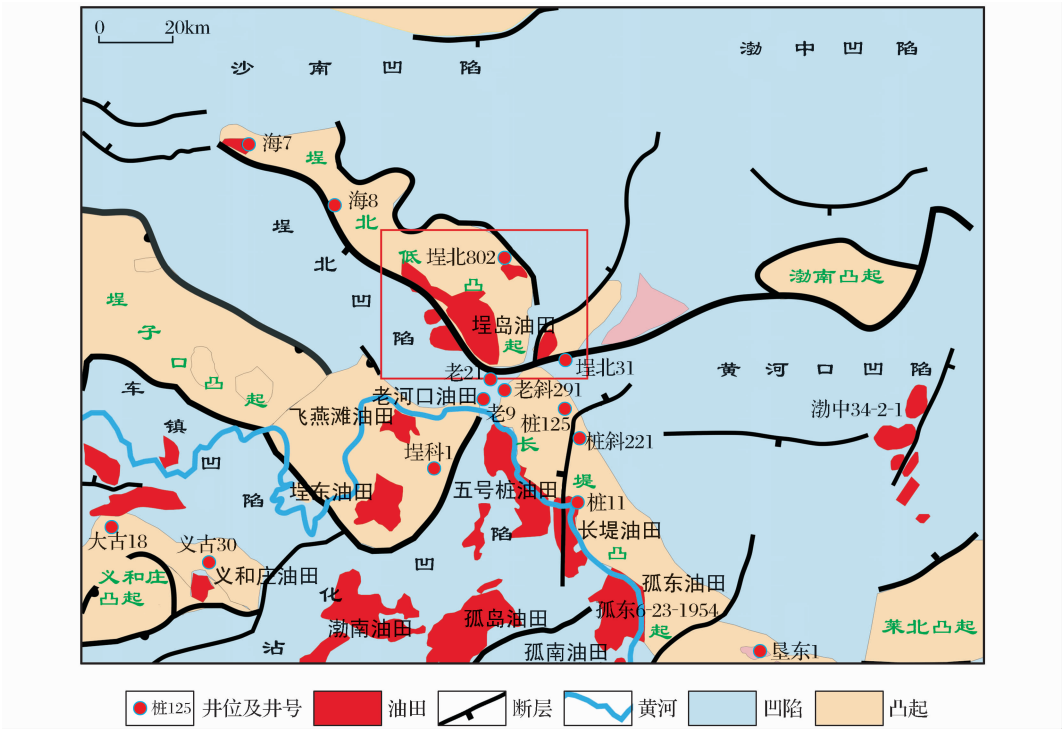


图1 埕岛油田区域构造位置

奥陶纪中后期,加里东运动使华北地区整体抬升为陆地,该区普遍缺失了上奥陶统、志留系、泥盆系、上石炭统沉积。奥陶系—石炭系之间为不整合接触,为一套杂色泥砾(泥岩铁铝质泥岩)风化壳,这套风化壳在华北地区广泛发育。

上古生界石炭系一二叠系为滨浅海—沼泽的海陆交互相沉积,为一套含煤地层,其沉积环境为滨浅海—沼泽的海陆交互相,地层为灰色生物碎屑灰岩、灰质砂岩、泥岩夹煤层、红色泥岩夹同色砂质泥岩、石英砂岩等。埕岛油田的胜海古3、埕北古4等井均钻遇石炭系一二叠系。

2.2 构造演化

埕岛地区残留的古潜山地层与济阳拗陷基本一致。研究区共发生了5次大的构造运动,其中加里东运动、海西运动发生在中生界沉积以前,控制了济阳拗陷前中生界地层的发育、沉积,印支—燕山—喜马拉雅运动发生在中生代及以后,主要控制了前三系潜山的构造格局及地层的保留、剥蚀。

埕岛潜山形成于三叠纪早期,历经印支期挤压,燕山期拉张、挤压及喜马拉雅期拉张强烈构造运动,

至新近纪才形成现今的构造形态(图2)。

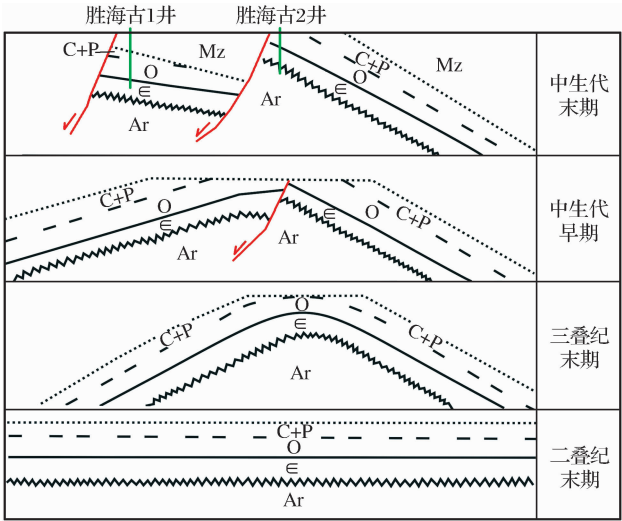


图2 埕岛地区构造演化地质特征
(过胜海古1井—胜海古2井连井地质剖面)

三叠纪晚期受印支运动近东西向挤压应力的影响,埕岛地区广泛隆起,挤压褶皱—推覆成山,形成一近南北向长轴背斜,背斜南高北低,高点在埕岛南部埕北古1井附近。经长期的风化剥蚀,核部地层

剥蚀严重,出露太古界,翼部出露古生界,并且由核部向翼部地层逐渐由老到新。

中生代早期燕山运动 I 幕受郯庐断裂左旋张性剪切的影响,形成近南北向的埕北 20 古断层。该断层在中生代长期继承性活动,控制了中生界的沉积,其下降盘沉积了巨厚的中生界,而断层上升盘基本没有中生代沉积。

中生代末期燕山运动 II 幕埕北大断层、埕北 30 大断层开始活动,并且持续强烈活动。受这些断层的影响,原处于埕北 20 断层下降盘西翼的埕北 11 井—胜海古 1 井一带沿埕北大断层抬升形成现今西排山,埕北 30 断层抬升形成今天的东排山。

喜马拉雅运动发生于古近纪—新近纪,研究区主要表现为整体下沉和继承性断裂活动,形成现今古近系向凸起超覆、新近系披覆其上的构造格局。

2.3 现今构造特征

研究区 3 期构造运动控制了埕岛潜山的形成,埕北大断层、埕北 20 古断层、埕北 30 断层控制了埕岛潜山的构造格局。

埕岛潜山现今构造整体呈北西走向,3 组断层即北北西向的埕北 20 古断层、北西向的埕北大断层、北东向的埕北 30 北断层和埕北 30 南断层,由东向西排列,南敛北撒,帚状收敛于南部,把埕岛潜山分隔成 3 个潜山构造带,即埕北断层上升盘的西排山、埕北 20 古断层上升盘的中排山和埕北 30 断层上升盘的东排山,3 个潜山构造带呈帚状向南收敛于埕北低凸起的东南端,形成了现今三排山的构造格局^[1,5-7](图 3)。其中西排山为受埕北断层长期继承性活动影响及燕山期改造而形成的一系列断块山,喜马拉雅期构造运动持续进行,从北向南依次发育了胜海古 1 潜山、埕北 242—斜 601 潜山、埕北古 6 潜山。中排山为埕北 20 古断层控制下其上升盘发育的残丘山,其内部被多条北东向和近东西向南掉断层切割,形成一系列断块残丘山。东排山为埕北 30 大断层控制形成的褶皱山。埕北 30 潜山为上剥下断型褶皱山,该潜山在印支期拱张褶皱,后期受燕山—喜马拉雅期构造运动改造,下古生界与太古界为断面接触(图 4,剖面位置为图 3 中 A—A')。

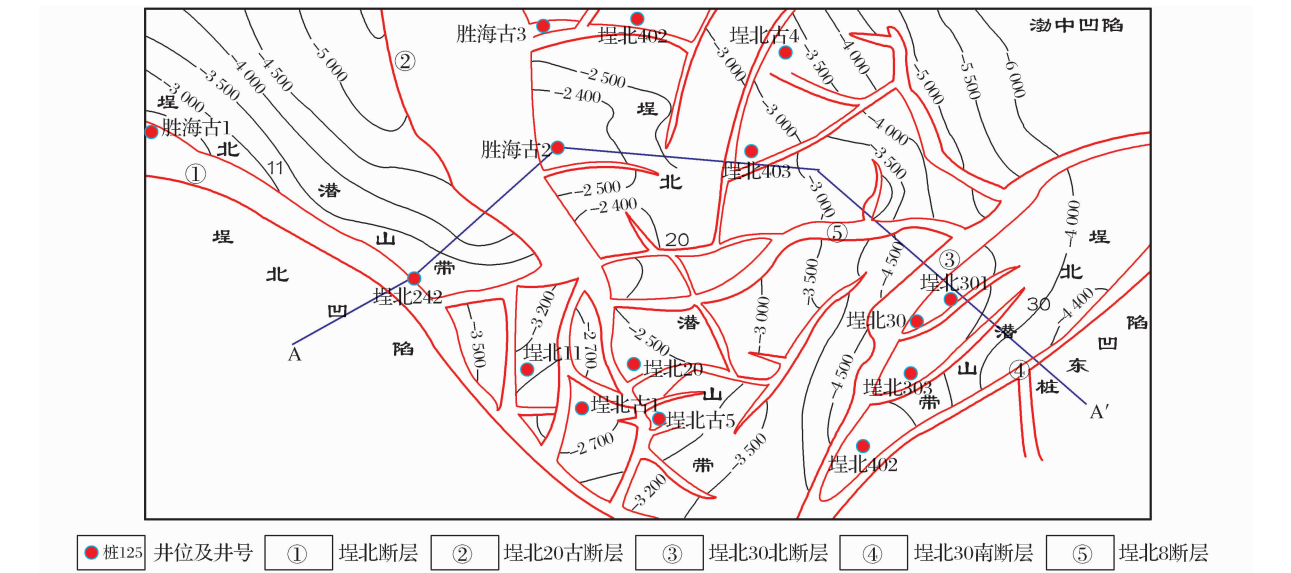


图 3 埕岛潜山构造

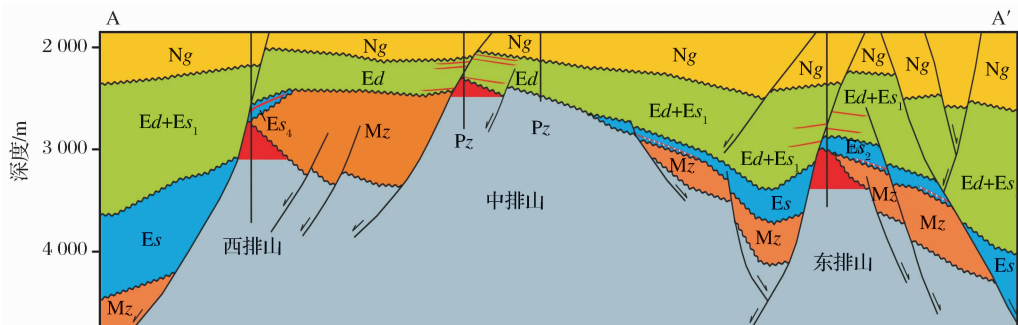


图 4 埕岛潜山地质剖面

3 储集空间类型

埕岛潜山储层原生孔隙基本不发育,对油气富集起决定性作用的为次生储集空间。结合钻井资料及周围潜山相关研究成果认为埕岛古潜山主要发育以下 3 种储集空间类型:裂缝、溶蚀孔洞和晶间孔隙,其中裂缝和溶洞为主要储集空间(图 5)^[8-11]。

裂缝:绝大部分为受应力作用而形成的构造裂

缝,经地下水沿裂缝溶蚀扩大也可形成两壁不平整的溶蚀裂缝。裂缝型储集空间普遍发育于古生界各套地层中。

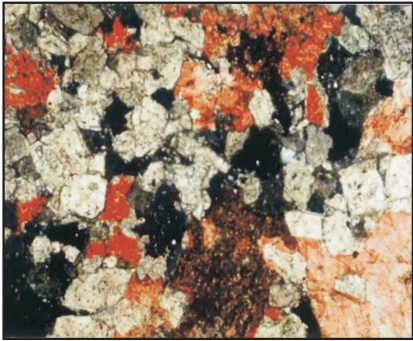
溶蚀孔洞:是地下水或地表水对碳酸盐岩进行溶解作用而形成的储集空间。岩心观察发现埕岛地区桩海 102 井、胜海古 2 井溶蚀孔发育,另外埕北 244 井、埕北古 1 井在潜山钻井过程中均发生钻具放空现象,说明埕岛潜山溶蚀孔洞发育。



(a)裂缝



(b)溶洞



(c)晶间孔隙

图 5 储集空间类型

晶间孔隙:指白云岩、灰岩中由重结晶作用、白云岩化作用等形成的白云石或方解石晶体之间的孔隙,孔隙直径一般为 3~5 μm ,经过溶蚀形成的晶间溶孔,最大直径可达 20 μm ,一般为 5~10 μm 。晶间孔隙的孔隙度一般为 3%~5%,局部可达 13.0%。埕岛潜山储层晶间孔隙主要发育于奥陶系冶里组—亮甲山组结晶白云岩中。

3.1 裂缝类型及特征

应用裂缝识别测井资料及岩心资料,对埕岛潜山裂缝进行了分析研究,认为该区裂缝类型主要发育 4 种类型:风化裂缝、成岩裂缝、压溶裂缝和构造裂缝。

3.1.1 风化裂缝

风化裂缝是指岩石表生期因物理、化学风化作用形成的各类裂缝,也可以是早期构造成因缝在表生期改造的结果。埕岛油田风化破裂缝主要指潜山风化面附近由于地表风化剥蚀产生的裂缝,其特点为裂缝产状复杂、裂缝宽度变化大、优势组系不明显(图 6)。

从埕岛油田裂缝识别测井资料统计结果来看,在风化壳附近,裂缝发育密集,通常是储层发育段。

3.1.2 成岩裂缝

成岩裂缝是指沉积物在成岩过程中被压实、失水收缩或重结晶等情况下形成的一些裂缝。埕岛油田的成岩裂缝主要分布在埕北 30 区块冶里组—亮

甲山组储层。

3.1.3 压溶裂缝

压溶裂缝是成分不太均匀的碳酸盐岩,在上覆地层静压力作用下,富含二氧化碳的地下水沿裂缝或层理流动,发生选择性溶解而形成,常见的是缝合线。其作为油气储集空间意义不大,但对油气的渗滤有一定的作用。

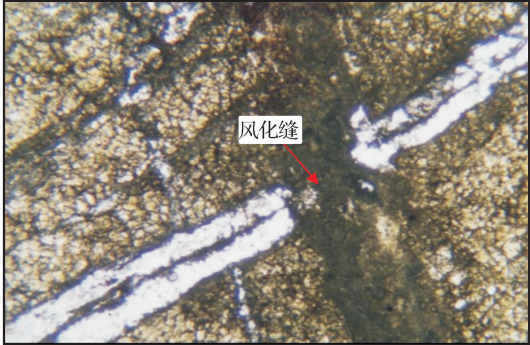
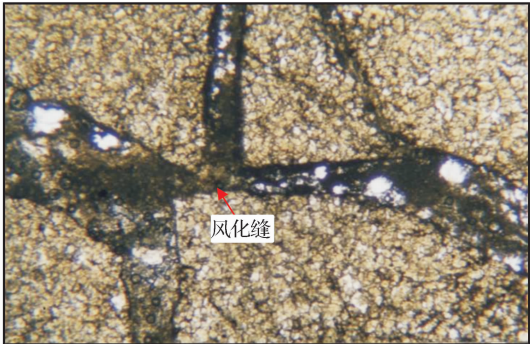


图 6 风化裂缝

3.1.4 构造裂缝

构造裂缝是指构造应力作用形成的岩石破裂,可分为挤压应力缝、剪应力缝、张应力缝等,其中挤压应力缝和张应力缝较常见。

挤压应力缝形成于挤压应力环境,主要为印支期挤压作用的产物,燕山期后期也可能存在挤压应力环境,裂缝倾角一般小于 45° ,缝面一般见有擦痕和炭质析出,挤压应力可以形成大量裂缝。挤压应力缝在埕岛油田较少,只在北部胜海古2井有分布。

张裂缝指构造拉张活动期形成的裂缝,由于这类裂缝形成时期晚,充填程度差,裂缝有效性较高,张裂缝的裂缝面倾角一般大于 45° ,缝面可见擦痕,其方向与裂缝倾向夹角一般小于 5° 。晚期有效裂缝主要形成于燕山早中期和喜马拉雅期。

3.2 裂缝参数研究

(1)裂缝期次。通过对潜山油气藏岩心观察、岩石薄片分析、同位素分析,埕岛潜山带古生界裂缝形成期次可分为早期裂缝、印支期裂缝及燕山—喜马拉雅期裂缝,形成的应力环境和自然环境各不相同,有效缝以燕山—喜马拉雅期裂缝为主。根据埕北39、埕北305、桩海102、桩古斜47等6口井的FMI成像测井分析,各口井裂缝普遍发育,主要发育段为:八陡组—马家沟组、冶里—亮甲山组及馒头组—太古界顶部这3段,个别发育在张夏组。每口井的主要裂缝走向与井旁主要断层的走向有很好的一致性,这说明了裂缝的构造成因,即研究区的断层主要是燕山—喜马拉雅期形成的。

(2)裂缝走向。应用裂缝识别测井资料解释结果,埕岛古潜山裂缝发育有4个优势方向:近东西向、北西—南东向、北东—南西向和近南北向。其中,最具有优势的方向为近东西向。

(3)裂缝倾角。根据岩心观察,见到2组构造裂缝:一组为倾角在 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 左右;另一组在 20° 左右。从区域资料上看,埕岛潜山带构造裂缝以中高角度为主。

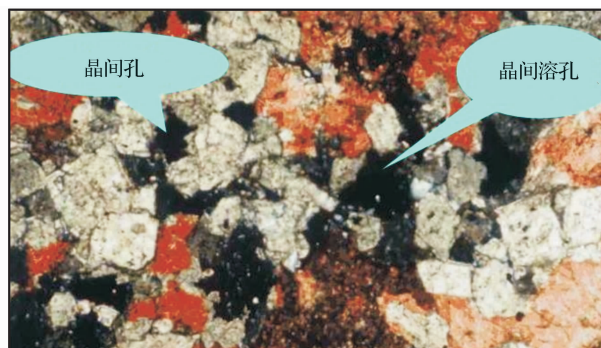
3.3 溶蚀孔洞类型

埕岛油田潜山油气藏溶蚀孔洞主要有2类:

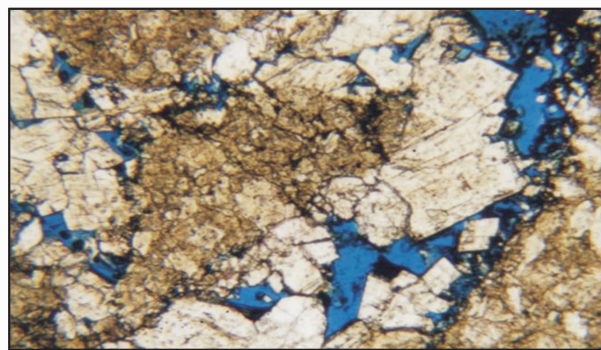
(1)晶间溶孔:方解石晶体、白云石晶体或花岗片麻岩中黑云母、长石晶体经过溶蚀作用形成的晶间溶孔,最大直径可达 $20\mu\text{m}$,一般为 $5\sim 20\mu\text{m}$,孔喉小到 $0.1\mu\text{m}$ 。在下古生界碳酸盐岩和太古界花岗片麻岩中易发生溶蚀的部位普遍发育(图7)。

(2)溶蚀洞穴:是地下水或地表水对碳酸盐岩进行溶解作用而形成的洞穴,主要依据钻井过程中的

钻具放空及井涌、井漏确定。下古生界潜山在中生界沉积以前,地层受到长期的剥蚀与淋滤,产生了大量的裂缝、溶孔溶洞。由于地下水活跃,更利于溶洞的发育(图8)。



(a)埕北30井冶里组—亮甲山组3 222m晶间溶孔



(b)埕北302井冶里组—亮甲山组白云岩中晶间溶孔

图7 研究区晶间溶孔、溶洞特征

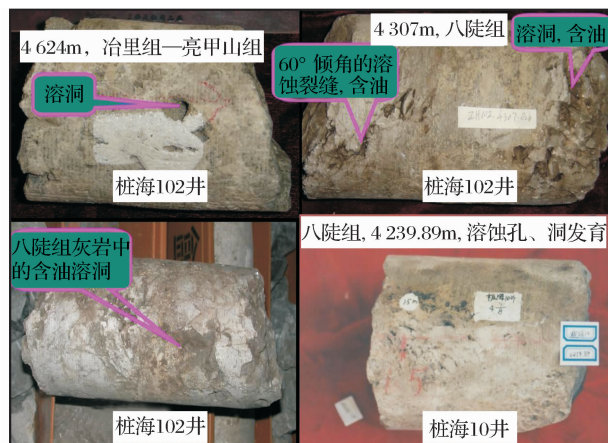


图8 桩海地区岩心溶孔、溶洞

灰岩地层更容易产生溶孔溶洞。岩心观察以及成像测井清晰可见大小不等的溶洞、溶孔。如桩海102井八陡组4 306.79m附近,溶蚀强烈,溶洞发育,溶洞大小最大为 $5\text{cm}\times 3\text{cm}$,一般在 $1\text{cm}\times 0.2\text{cm}$ 左右(图9)。

4 储层的分布规律

埕岛潜山经历了长期的风化剥蚀和多期复杂的

演化历程,结合取心、测井资料研究分析认为埕岛古潜山油藏储层分布规律如下。

风化壳储层是潜山主要储集体。通过分析所有钻遇潜山井的测井解释情况看,储层集中发育在潜山顶部风化壳地层,厚度一般在 250m 之内,主要发育层位为八陡组—马家沟组、馒头组—太古界,顶部

常发育厚约 28m 的致密层。从埋深上看,随着从风化面向下深度的增加,储层发育程度逐渐降低(图 10,图中红色为储层发育段)。

内幕储层也有一定程度发育,主要发育在冶里组—亮甲山组、凤山组,个别发育在张夏组,内幕断层控制其分布。

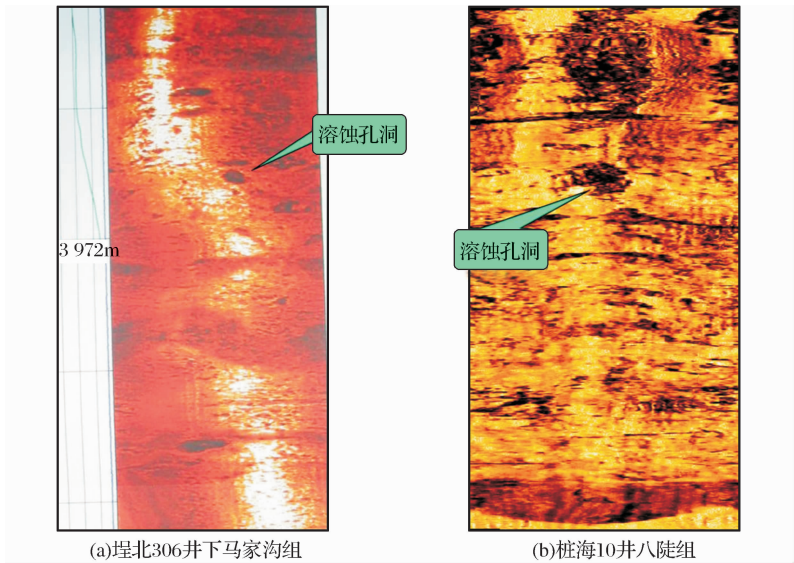


图 9 成像测井溶蚀孔洞

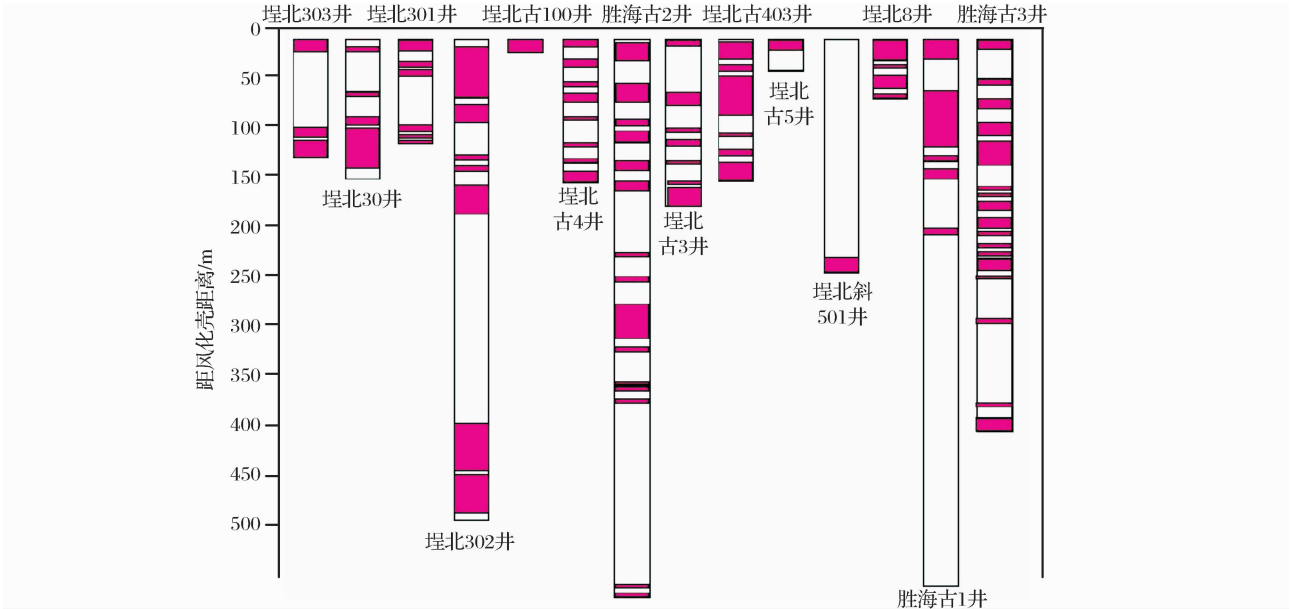


图 10 埕岛油田下古生界储层与风化壳距离的关系

5 结论

(1)埕岛地区潜山经历了 3 次成山过程:印支期北北东向挤压褶皱、滑脱、隆升成山——形成潜山雏形;燕山初期拉张、末期挤压——进一步成山;喜马拉雅早期拉张块断成山——进一步改造。潜山最终

定型于新近纪早期。
(2)埕岛油田古潜山可以划分为以下 3 个构造单元:埕北 20 古断层下降盘的西排山、上升盘的中排山和东排山,均经历了较长时间的风化剥蚀,属于断块残丘山。
(3)埕岛油田古潜山主要的储集空间是裂缝、溶

蚀孔洞、晶间孔隙 3 类。

(4) 埕岛古潜山储层分布规律: 风化壳储层是潜山的主要储集体, 主要发育地层为八陡组—马家沟组和馒头组—太古界, 内幕储层也有一定程度发育, 主要发育地层为冶里组—亮甲山组、凤山组。

参考文献(References):

- [1] Li Pilog, Zhang Shanwen, Song Guoqi, *et al.* The Origin and Exploration of Diversity Buried Hill in Jiyang Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. [李丕龙, 张善文, 宋国奇, 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.]
- [2] Kong Fanxian. Geological and Exploration Practice in Chengdao Oil-field [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. [孔凡仙. 埕岛油田地质与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.]
- [3] Wang Binghai, Qian Kai. Geological Study and Exploretion Practice in Shengli Oilfield [M]. Dongying: University of Petroleum Press, 1992: 179-181. [王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992: 179-181.]
- [4] Gao Xilong, Yang Pengfei, Li Zhaoyan, *et al.* Features of buried hill hydrocarbon reservoirs in Chengdao area [J]. The Hydrocarbon Reservoir, 1998, (3): 5-7. [高喜龙, 杨鹏飞, 李照延, 等. 埕岛复式油气田聚集特征[J]. 复式油气田, 1998, (3): 5-7.]
- [5] Kong Fanxian, Lin Huixi. Features of buried hill hydrocarbon reservoirs in Chengdao-area, Shandong [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(2): 116-122. [孔凡仙, 林会喜. 埕岛地区潜山油气藏特征[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(2): 116-122.]
- [6] Xiao Dongsheng. Lower Paleozoic burial stratigraphy and res-

ervoir-cap assemblages in Nanpu sag, Bohai Bay basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 68-73. [肖冬生. 渤海湾盆地南堡凹陷下古生界潜山地层及其储盖组合[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 68-73.]

- [7] Yang Pinrong, Chen Jie, Cai Jingong, *et al.* Structural transitional stages in Jiyang depression and their significance on petroleum geology [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(3): 5-7. [杨品荣, 陈洁, 蔡进功, 等. 济阳坳陷构造转型期及其石油地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(3): 5-7.]
- [8] Li Li, Dai Junsheng, Xie Chuanli. Meso-Plaeozoic fractures in Chengdao region and their relation to oil and gas [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 264-267. [李理, 戴俊生, 谢传礼. 埕岛地区中、古生界裂缝与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 264-267.]
- [9] Zhou Wen, Liu Jiaduo, Hu Wenyan, *et al.* Evalution on distribution of fracture from reservoir of Palaeozoic and Archeozoic in the east Chengdao buried hill [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(1): 52-56. [周文, 刘家铎, 胡文艳, 等. 埕岛中东部潜山带古生界和太古界储层裂缝分布评价[J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 52-56.]
- [10] Liu Chun, Zhang Huiliang, Han Bo, *et al.* Reservoir characteristics and control factors of deep-burial clastic rocks in Dabei zone of Kuche sag [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(4): 504-512. [刘春, 张惠良, 韩波, 等. 库车坳陷大北地区深部碎屑岩储层特征及控制因素[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(4): 504-512.]
- [11] Zhuo Xizhun, Wang Qi, Chen Guojun, *et al.* Vertical plosity variation of elastic reservoir rock in Enping sag, Zhujiangkou basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(5): 643-647. [褚喜准, 王琪, 陈国俊, 等. 珠江口盆地恩平凹陷碎屑岩储层孔隙度纵向演化特征[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 643-647.]

The Structural Evolution and Reservoir Characteristics of Pre-Mesozoic in Chengdao Offshore Oilfield of Shengli Oilfield Company

YU Shi-na, TENG Fei, WU Qun-hu, YU Wei-wei

(Offshore Oil Production Company, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257237, China)

Abstract: In the past few years, great achievements have been made in the exploration in the buried hill reservoir of Chengdao. Structure and reservoir conditions control the accumulation and enrichness of oil and gas in the buried hill. This paper studies the structural evolution, the controlling factors on reservoir and its distribution and demonstrates the role of structural evolution of buried hill on the distribution of strata and reservoirs. Results indicate that the Chengdao buried hill experienced long time weathering denudation and multiple complex evolution. Reservoir space has great diversity and the weathering crust reservoir is the dominant reservoir in the buried hill. As the depth to the weathering front increases, the development of the reservoir decreases and inner buried hill reservoirs increases which is controlled by interior fault. This paper can provide some references to the exploration of the buried hill in Chengdao region as well as the Bohai Sea Bay basin.

Key words: Structural evolution; Reservoir characteristics; Fractures; Solution pores; Chengdao oilfield