

文章编号:1672-9854(2008)-01-0037-08

渤海湾盆地埕岛油田缝洞型潜山油气藏 构造及储层特征

付兆辉^{1,2}, 陈发景¹, 刘忠胜², 张卫平², 程明², 张在振²

(1 中国地质大学(北京)能源学院; 2 中国石化股份公司胜利分公司海洋采油厂)



付兆辉

摘 要 埕岛油田古潜山油气藏为典型的缝洞型碳酸盐岩油气藏。埕岛地区经历了多期次的构造运动,并经受多期次的断裂与剥蚀作用,为油气成藏创造了良好条件。埕岛油田古潜山可以划分为三个构造单元,即埕北20断层下降盘的西排山,上升盘的中排山和东排山,三个潜山带成帚状敛于凸起最南端,为几个二级构造单元交汇处,构造应力较发育。埕岛油田有三种储集空间类型:晶间孔隙、溶蚀孔洞和裂缝。

关键词 埕岛油田;古潜山油气藏;构造特征;储集层特征

中图分类号:TE111.2;TE112.23 **文献标识码**:A

付兆辉 1978年生,工程师。2000年毕业于中国地质大学(武汉),现为中国地质大学(北京)能源学院博士研究生。主要从事浅海油气地质勘探和综合研究工作。通讯地址:257237 山东省东营市河口区仙河镇 胜利油田海洋采油厂;电话:(0546)8582907

1 概 述

潜山油气藏指以“基岩”为储集层、被非渗透层遮挡并聚集油气而形成的特殊类型的油气藏^[1]。潜山油气藏分类较多,按照储层性质及孔隙类型可分为孔隙型、洞穴型、裂缝型、孔洞型、缝孔型、缝洞型六类。缝洞型潜山油气藏包含孔隙、洞穴、裂缝等多种储集空间类型,渗滤通道为裂缝和喉道,储集结构较为复杂。

埕岛油田位于渤海湾西南部浅海海域,构造上处于埕宁隆起带埕北低凸起东南部,是在古潜山基础上发育起来的潜山披覆构造带。周围凹陷众多,有埕北凹陷、沙南凹陷、渤中凹陷、黄河口凹陷等四个生油凹陷(图1),成藏条件非常有利。该油田自20世纪90年代初期规模开发以来,已探明石油地质储量约 $4 \times 10^8 \text{ t}$,具有 $220 \times 10^4 \text{ t}$ 年生产能力,其中浅层油气藏已全面投入开发。由于古潜山的油气成藏较为复杂,因此研究古潜山的构造特征、储

层特征对于打开古潜山勘探局面、保持油田持续稳定发展具有重要意义。

2 构造特征

2.1 构造演化史

埕岛油田位于渤海湾盆地中部。渤海湾盆地中生代地层沉积之前属华北地台型构造体系。在经历了五台、吕梁运动后形成褶皱基底,埕岛地区分布有前寒武系泰山群花岗岩片麻岩。加里东运动使华北地台稳定古陆形成,沉积了寒武系滨海、浅海相和下、中奥陶统浅海相稳定的碳酸盐岩,总厚度 $800 \sim 1\,200 \text{ m}$ ^[2]。加里东运动后期,埕岛地区随华北地台整体稳定抬升,遭受剥蚀,缺失上奥陶统及下石炭统,使中奥陶统与中石炭统呈假整合接触。中石炭世—晚二叠世地台整体稳定沉降,沉积了一套海陆交互灰岩、煤及碎屑岩的大陆边缘沉积。晚二叠世—中三叠世,海岸线稳定后退,沉积环境由

收稿日期:2007-09-09;改回日期:2007-10-23

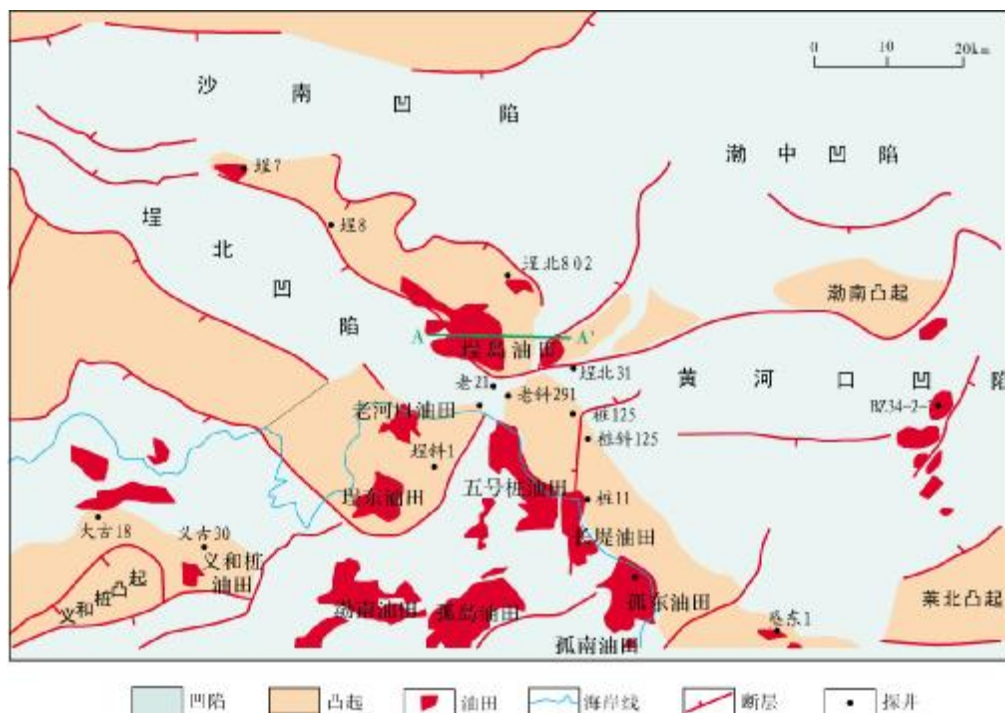


图1 埕岛油田构造位置图

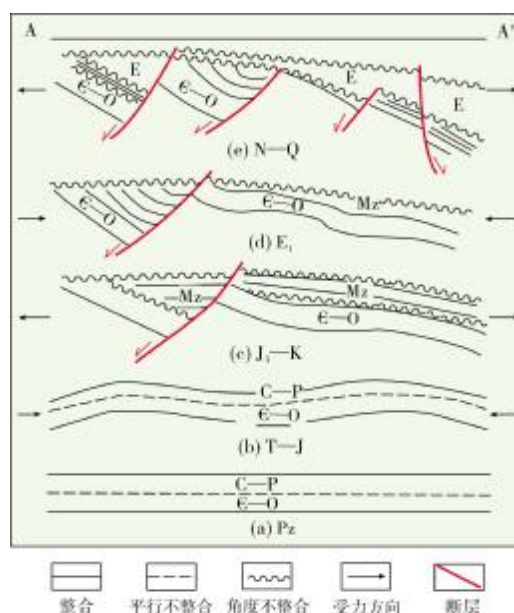
陆表浅海转化为内陆盆地。

三叠纪中、晚期受印支运动东西向挤压应力的作用,埕岛地区广泛隆起,在其东南部形成背斜构造,这一时期大部分地区遭受剥蚀,未见沉积,由于上古生界以碎屑岩为主,高部位很快被剥蚀,低部位仍有少量地层保存。而下古生界为碳酸盐建造,在构造变形强处剥蚀程度高,构造变形弱处风化剥蚀程度低。在埕岛油田北部地区,下古生界奥陶系以及寒武系保留较多,而在背斜的核部地带——埕岛油田南部地区,古生界已剥蚀殆尽,露出了太古界。

早侏罗世的燕山运动 I 幕^[3],受郯庐断裂左旋张性剪切的影响,埕岛地区北北西向西掉断层——埕北 20 断层开始发育。晚侏罗世的燕山运动 II 幕,埕北 20 断层将整个埕岛古背斜分成东西两部分,埕岛地区由隆起剥蚀转为断陷盆地并接受中生界沉积,埕北 20 断层为中生界沉积的边界断层,它控制了该地区的中生界沉积,使得下降盘沉积了较厚的中生界,而东部的上升盘则没有接受太厚的沉积,只是在剥蚀沟谷地带沉积了少量的中生界,埕北 23 井钻遇的煤层也证实了这一点。燕山运动末期,受郯庐断裂带活动的影响,本地区以张扭作

用为主产生了埕北大断层(图2c),造成了上升盘埕北潜山带的隆起和下降盘埕北凹陷的发育。

喜马拉雅运动期为拗陷发育期,该运动时期主要沉积了新近纪地层,并伴随有基性岩浆的侵入,

图2 埕岛油田构造演化模式图
剖面位置见图1中的A—A'

同时产生了一系列新的断层并切割老断层。在长期的区域构造运动影响下,埕岛油田古潜山也经受了断裂以及剥蚀作用,为油气成藏创造了良好的条件。总体上看,埕岛油田古潜山早期遭受挤压、剥蚀,后期应力环境为拉张作用为主。潜山由古生界、太古界两层结构组成,第三系呈现在潜山背景上形成的大型超覆—披覆构造(图2e)。

2.2 古生界构造特征

潜山是渤海湾盆地最常见的和富集油气的一种聚集类型^[4]。埕岛油田古潜山构造发育了大量的潜山油气藏,它们是埕岛油田增储上产的重要阵地。埕岛油田古潜山根据古生界顶面构造图,基本上可以划分为三个构造单元,即埕北20断层下降盘的

西排山,上升盘的中排山和东排山,三个潜山带成帚状敛于凸起最南端,为几个二级构造单元交汇处,构造应力较发育。西排山沿埕北大断层上升盘近北西向展布,中排山沿埕北20古断层上升盘近南北向分布,东排山近北东向展布(图3)。埕岛油田古生界潜山均经历了较长时间的风化剥蚀,均属断块残丘山。

3 储层特征

埕岛古潜山主要发育古生界储层,储层岩性变化大,储集空间类型多,既具有准同生成因储集空间,也有后生和表生成因储集空间,储层发育控制因素复杂多样,其突出特点是原生储集空间不发育,裂缝和溶蚀孔洞为主要的储集空间。

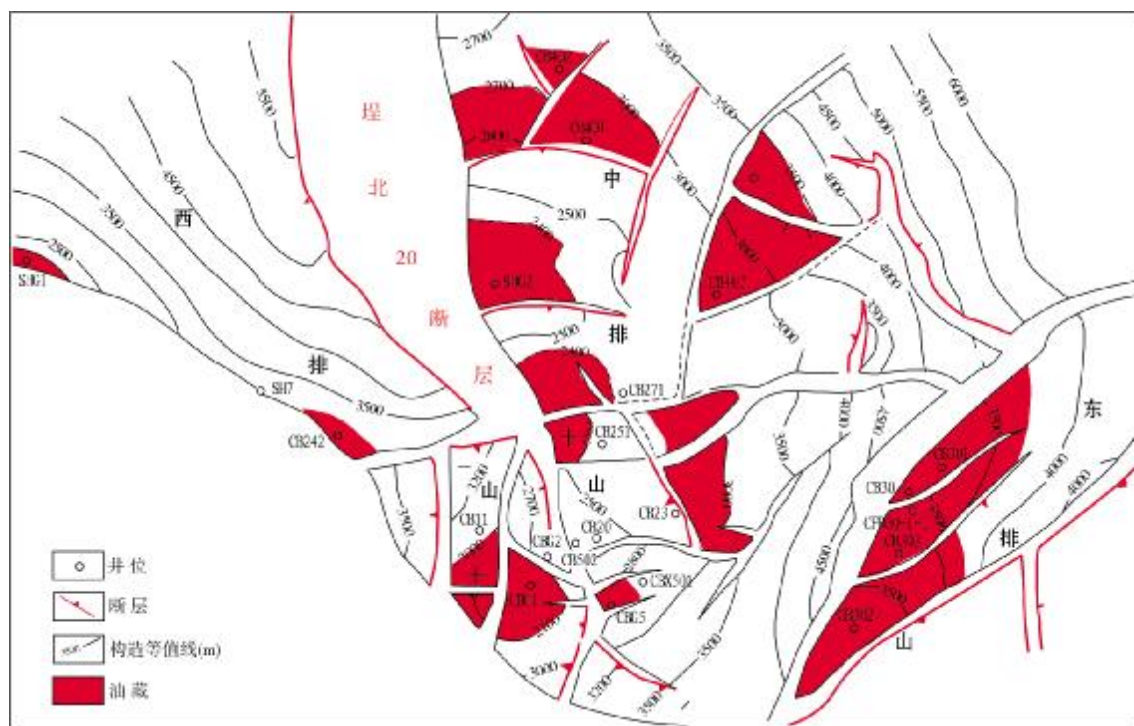


图3 埕岛油田古生界顶面构造图

3.1 储集空间类型

埕岛油田古生界储层原生孔隙均不发育,对油气富集起决定性作用的为次生储集空间^[5]。结合古潜山探井资料及周围潜山相关研究成果,认为埕岛油田古潜山主要发育以下三种类型^[6]:

(1)晶间孔隙:指白云岩、石灰岩中由重结晶作

用、白云石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 。晶间孔的孔隙度一般为3%~5%,局部可达13%。主要发育于下奥陶统冶里组—亮甲山组结晶白云岩中。

(2)溶蚀孔洞: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。从胜海古2井岩心观

察中可以看到溶蚀孔,另外在埕北244井、埕北古1井均发生钻具放空现象,说明埕岛油田古潜山具备发育大量溶蚀孔洞的条件。

(3)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。

3.2 裂缝类型及特征

裂缝是潜山油气藏主要的储集空间,对储层的发育起着重要的控制作用。本次研究应用裂缝识别技术分析测井资料及岩心资料,对埕岛油田古潜山裂缝分布规律及发育特征进行了研究和总结。

3.2.1 裂缝类型

埕岛油田古潜山裂缝根据成因不同可分为四类:风化裂缝、成岩裂缝、压溶裂缝和构造裂缝。

(1) 风化裂缝

埕岛油田风化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。从裂缝识别测井资料上看,在风化壳附近,裂缝发育密集,通常是储层发育段。胜海古2井这种裂缝发育明显(图4),在早期风化改造及后期构造应力作用下,风化壳附近裂缝十分发育,形成了良好储层。

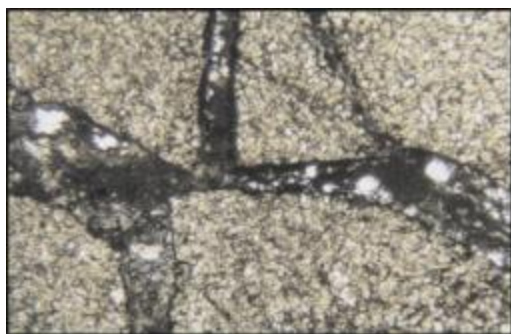


图4 奥陶系冶里组—亮甲山组风化裂缝

潜山风化面(该井中生界—上奥陶统缺失)附近由于地表风化剥蚀产生的裂缝,产状复杂,裂缝宽度变化大,储层发育,被原油充填。胜海古2井,2422.5m

(2) 成岩裂缝

这种在成岩过程中被压实、失水收缩或重结晶等情况下形成的裂缝,一般受层理限制,不穿层,多数平行层面,裂缝面弯曲、形状不规则,有时有

分枝现象。埕岛油田的成岩裂缝主要分布在埕北30区块冶里组—亮甲山组储层中(图5)。

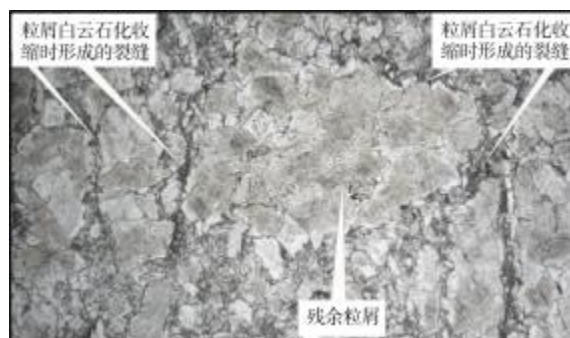


图5 奥陶系冶里组—亮甲山组成岩裂缝

白云岩成岩过程中被压实、失水收缩、重结晶等情况下形成的裂缝。多数平行层面裂缝面弯曲,形状不规则,储层发育。埕北30井,3222.0m

(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(图6)。缝合线中常残留有许多泥质和沥青,其作为油气储集空间的意义不大,但对油气的渗滤有一定的作用。



图6 奥陶系八陡组缝合线

白云岩中缝合线呈45°倾角,储层不发育。桩海102井,4318.42m

(4) 构造缝

构造应力作用所形成的岩石破裂。按应力机制又可分为挤压应力缝、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 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碳质析出,挤压应力可以形成大量裂缝,是目前地层中重要的裂缝类型之一。

张裂缝 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° (图7)。晚期有效裂缝主要形成于燕山早—中期和喜马拉雅期,这两次盆地拉张运动是华北断陷盆地形成的主要时期,华北地区长期处于张应力环境,大型断层继承性活动,在形成盆地主要构造单元的同时,在潜山地层中形成大量裂缝。张性断层影响范围一般较小,裂缝主要发育在断裂带内及断裂带附近,对远离断裂带的地层影响不大。



图7 奥陶系上马家沟组张裂缝
为开启的垂直裂缝。桩海102井,4457.26 m

3.2.2 裂缝参数研究

裂缝期次 根据对潜山油气藏的岩心观察、岩石薄片分析和同位素分析,埕岛潜山带古生界裂缝形成期次分为早期裂缝、印支期裂缝、燕山—喜马拉雅期裂缝。所形成的应力环境和自然环境各不相同,方解石充填缝形成于古生代地层风化淋滤期,有效缝以燕山—喜马拉雅期裂缝为主。

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四个优势方向,分别为近东西向、北西—南东向、北东—南西向、近南北向。其中近东西向和北东向更占优势。

裂缝倾角 根据岩心观察,见到两组构造裂缝,一组倾角在 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$;另一组在 20° 左右。埕岛潜山带构造裂缝以中、高角度($60^{\circ}\sim 70^{\circ}$)为主^[7]。

裂缝开启性 根据裂缝扩张趋势图进行现今应力场条件下裂缝的开启性分析,以北东和近东西向裂缝开启性为好,北西向裂缝开启性较差。

3.2.3 裂缝特征

统计埕岛油田下古生界和太古界岩心长66.5 m,裂缝1330条,主要有以下特征。

(1) 裂缝以充填裂缝为主,在1330条裂缝中,开启缝426条,占32%,充填裂缝904条,占68%。

(2) 开启裂缝中以微细裂缝为主,开启裂缝中大缝占9.3%、中缝占24.9%、微细裂缝占65.8%。

(3) 裂缝发育方向以北东向和近东西向为主,岩心上可定向的裂缝154条,其中北东向82条,占53%,东西向52条,占34%。

3.3 溶蚀孔洞类型及特征

埕岛油田潜山油气藏溶蚀孔洞主要有两类。

(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8a)。

(2) 溶蚀洞穴: 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。石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4306.79 m附近,溶蚀强烈、溶洞发育(图8b),最大 $5\times 3\text{cm}$,一般 $1\times 0.2\text{cm}$ 左右。

3.4 岩溶作用

埕岛油田古潜山油藏的储层岩性以灰岩为主,影响灰岩储层发育的主要因素是裂缝和岩溶作用。岩溶作用产生的溶蚀孔洞是本区的主要储集空间类型之一。结合区域构造演化以及古潜山储层发育特

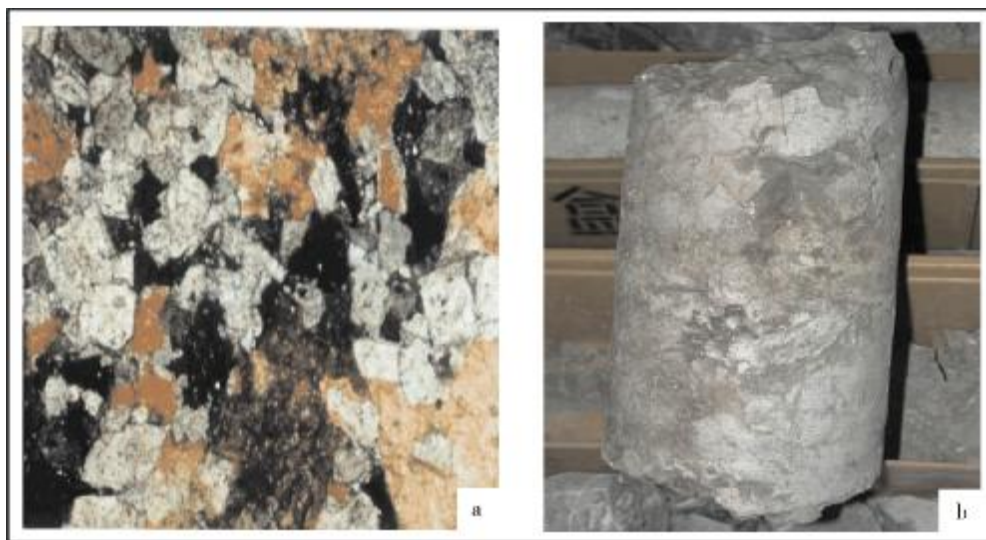


图8 (a) 奥陶系冶里组—亮甲山组晶间溶孔,被原油充填,储层非常发育。埕北304井,3953.84m
(b) 奥陶系八陡组溶蚀洞穴,为灰岩中的含油溶洞,储层发育。桩海102井,4306.79m

点分析,埕岛油田的岩溶作用大致经历了以下几个岩溶期次。

表生淡水岩溶作用阶段 此岩溶作用阶段发生在加里东运动时期,该时期地层较稳定抬升,大部分奥陶纪地层出露地表,主要是接受大气淡水岩溶作用。其特征为持续时间长、断裂少、风化壳表层岩溶强烈,由于地势平坦,无明显差异剥蚀,古地貌起伏幅度小,风化壳顶部地层中由于有泥质隔层,岩溶发育仅局限于风化壳表层。

初次咸水、岩溶充填阶段 晚石炭世初期,该区经历海西运动,伴随着地壳的升降,海水入侵,发生咸水岩溶,同时新的地层开始沉积,岩溶作用的同时,伴有充填作用,早期岩溶充填程度高。

印支期暴露、埋藏岩溶阶段 印支运动时期,研究区地壳抬升,地层暴露地表,石炭系—二叠系遭受剥蚀。上古生界剥蚀区再次接受大气淡水岩溶作用,发生二次暴露期表生淡水岩溶作用。上古生界覆盖区,发生埋藏期淡水渗滤岩溶作用,由于晚三叠世—早侏罗世断裂作用强烈,断层数量增多,岩溶作用也比较强烈(图9a)。

燕山期暴露、埋藏岩溶阶段 燕山运动时期,本区上古生界剥蚀区继续接受大气淡水岩溶作用,发生二次或三次暴露期表生淡水岩溶作用;上古生界覆盖区,发生二次埋藏期淡水渗滤岩溶

作用,由于晚白垩世—古新世正断裂作用强烈,断层数量激增,在断层破裂带岩溶作用十分强烈(图9b)。

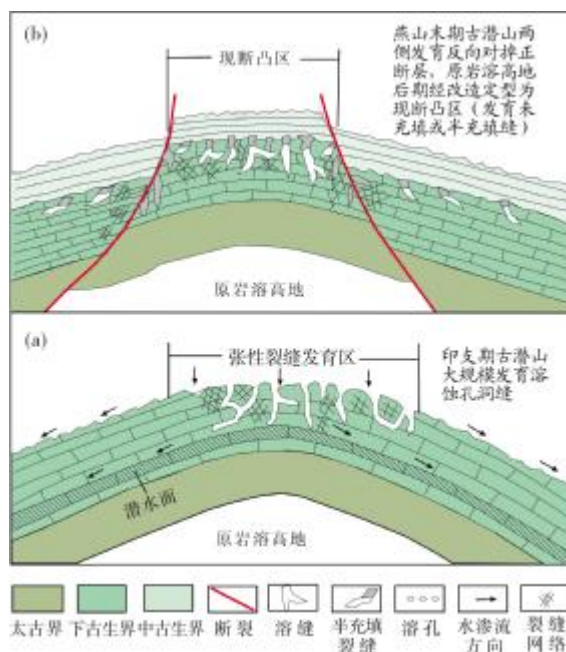


图9 埕岛油田岩溶储层发育模式

埋藏期岩溶作用阶段 喜马拉雅运动,上覆中生界、第三系均已沉积,岩溶作用进入埋藏期岩溶作用阶段,岩溶发育强度相对较低。

结合区域研究资料认为，印支运动及燕山运动期间的岩溶发育对埕岛古潜山储层的形成影响最大。两期构造运动活跃，产生大量断层和裂缝，既有暴露的风化、剥蚀作用，还有因断层沟通而产生的淡水渗入溶蚀作用，产生的溶蚀孔洞构成了现今的储层。

3.5 储层的发育规律

3.5.1 埕岛古潜山储层分布规律

碳酸盐岩潜山油藏储层储集空间类型多样，经历了多期复杂的演化历程^[8]。结合录井、试油、测井资料，简要总结埕岛古潜山油藏储层分布规律如下。

(1) 储层发育的层位主要是潜山顶部地层 从

埕岛油田古潜山的测井解释情况看，储层集中发育在潜山顶部地层，尤其是风化壳地层（图 10）。

(2) 储层发育段与裂缝分布有良好的对应关系从裂缝识别测井解释情况看，裂缝分布与储层发育有着密切关系，裂缝发育密集段通常发育储层。这说明裂缝对储层发育起到重要作用。

3.5.2 储层平面及纵向上发育规律

在相似构造演化背景下，埕岛潜山带形成一系列以断层与不整合面为边界的风化壳型块状潜山油藏，包括胜海古 1 潜山、埕北 242 潜山、埕北古 1 潜山及胜海古 2 潜山。其共同特征为以大断层和不整合面封堵油气，顶面构造较简单，多为不同规模的断鼻构造，储层主要受风化壳控制，油藏为具统一底水的块状潜山油藏。

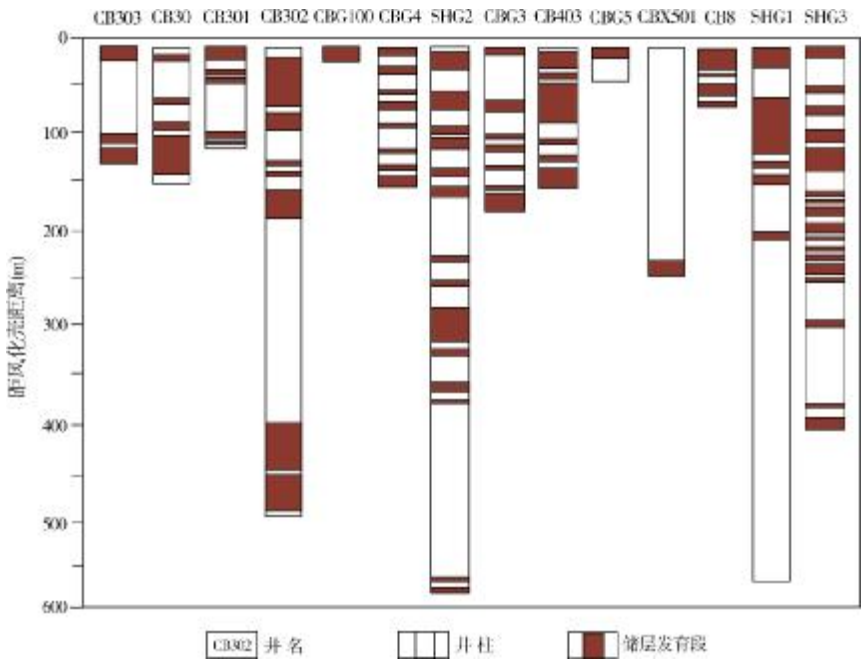


图 10 埕岛油田下古生界储层与风化壳距离的关系

平面上，储层平行于古风化壳大面积分布，且各潜山带主体储层好于斜坡带。

纵向上，储集层可划分为两套主要储集系统。一是风化壳，厚度一般在 250m 之内，顶部常发育厚度小于 28m 的致密层；二是内幕储集体，主要是治里组—亮甲山组—凤山组，个别张夏组，内幕断层控制储集体分布。从储层发育层位看，裂缝是主要的储集体及疏导体，多期次、多方向的高角度

裂缝将溶蚀孔洞、晶间溶孔等储集空间有机地连接在一起，在纵向上大致形成 3 套储集层：八陡组—马家沟组、治里组—亮甲山组—凤山组、馒头组—太古界。从深度上看，随着距风化面深度的加大，储层发育程度逐渐降低。

4 结 论

本文通过对埕岛油田古潜山勘探开发情况进行

分析,研究了潜山油气藏的构造特征和储层特征,得出以下结论。

(1) 埕岛地区潜山经历了三次成山过程:印支期北北东向挤压褶皱、滑脱、隆升、剥蚀成山——形成潜山雏形;燕山末期逆冲推覆——进一步成山;喜马拉雅早期拉张块断成山——进一步改造,潜山最终定型于晚第三纪早期。

(2) 埕岛油田古潜山可以划分为三个构造单元:埕北 20 古断层下降盘的西排山、上升盘的中排山和东排山,它们均经历了较长时间的风化剥蚀,属断块残丘山。

(3) 埕岛油田古潜山主要的储集空间是裂缝、溶蚀孔洞、晶间孔隙三类。裂缝可分为风化裂缝、成岩裂缝、压溶裂缝和构造裂缝;溶蚀孔洞可分为晶间溶孔和溶蚀洞穴两类。

(4) 埕岛古潜山经历了多期次岩溶作用。印支运动及燕山运动期间的岩溶发育对埕岛古潜山储层的形成影响最大,产生大量断层、裂缝及溶蚀孔洞,构成了现今的储层。

(5) 埕岛古潜山储层分布规律:①储层发育的层位主要是潜山顶部地层;②储层发育段与裂缝分

布有良好的对应关系;③平面上,储层平行于古风化壳分布,潜山带主体储层好于斜坡带;④纵向上,八陡组—马家沟组、冶里组—亮甲山组—凤山组、馒头组—太古界构造裂缝和溶蚀孔洞发育,是有利的储集层段。

参考文献

- [1] 李丕龙,张善文,曲寿利,等. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]//李丕龙,等. 陆相断陷盆地油气成藏组合(卷四). 北京:石油工业出版社,2003:66-71.
- [2] 汪泽成,刘和甫. 黄骅坳陷中新代构造负反转分析[J]. 地球科学,1998,23(3):289-293.
- [3] 尹赞勋,徐道一,浦庆余. 中国地壳运动名称资料汇编[J]. 地质论评,1965,23(增刊):62.
- [4] 陈发景,汪新文,陈昭年. 伸展断陷盆地分析[M]. 北京:地质出版社,2002:24-28.
- [5] 李丕龙,庞雄奇,等. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳坳陷为例[M]. 北京:石油工业出版社,2004:108-113.
- [6] 史建忠,张玲. 埕岛油田埕北 30 潜山复杂岩性储层测井定量评价[J]. 测井技术,2000,24(5):328-332.
- [7] 潘元林,张善文,肖焕钦,等. 济阳断陷盆地隐蔽油气藏勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2003:272-275.
- [8] 郑和荣,林会喜,王永诗. 埕岛油田勘探实践与认识[J]. 石油勘探与开发,2000,27(5):1-3.

编辑:金顺爱

Tectonic and Reservoir Characteristics of Fractured-Caved Buried-hill Reservoir in Chengdao Oil Field, Bohaiwan Basin

Fu Zhaohui, Chen Fajing, Liu Zhongsheng, Zhang Weiping,
Cheng Ming, Zhang Zaizhen

Abstract: Buried-hill carbonate reservoir is typically fractured and caved in Chengdao Oil Field. Several periods of faulting and denudation were undergone during some tectonic movements in Chengdao area, which results in good condition for hydrocarbon accumulation. The buried hill can be divided into three structural units, all of which converge in brush to the south end of the arch where some sub-structural units meet and also the structural stress is concentrated. In Chengdao Oilfield, there are three common types of reservoir spaces, that is, intercrystal pores, solution caves and fractures.

Key words: Buried hill reservoir; Structure characteristics; Reservoir characteristics; Chengdao Oil Field; Bohaiwan Basin

Fu Zhaohui: male, Doctor degree in progress at Energy College of China Geology University. Add: Xianhe, Dongying, Shandong, 257237 China.