

东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山储层储集空间特征及发育模式

咎念民^{1,2}, 王艳忠^{1,2}, 操应长^{1,2}, 远光辉¹, 程鑫¹, 姜伟¹, 贾光华³, 宋明水³

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257015]

摘要:渤海湾盆地东营凹陷寒武系和奥陶系碳酸盐岩储层经受多期构造运动及成岩改造, 储层非均质性强。综合应用测录井、岩心、薄片、碳氧同位素、流体包裹体及地震资料, 系统研究了东营凹陷下古生界碳酸盐岩储层储集空间特征及发育模式。东营凹陷下古生界碳酸盐岩储层储集空间主要包括裂缝、溶洞及溶孔。溶洞包括灰泥溶洞和角砾间溶洞, 裂缝主要包括构造缝和溶蚀缝, 孔隙主要包括角砾间溶孔、脉内溶孔及晶间溶孔。东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山主要由残丘型及断块型潜山构成。残丘型潜山主要分布在草桥地区及郑家—王庄地区, 垂向上受不整合面影响发育由垂直渗流带及水平潜流带构成的风化壳储层, 储集空间主要为高角度裂缝、角砾间溶洞及水平层状溶洞。残丘型潜山表生岩溶带整体较厚, 缝洞规模较大, 连通性好, 具有良好的储集性能。以灰岩为主的残丘型潜山表生岩溶带厚度可达170 m, 以白云岩为主的残丘型潜山表生岩溶带厚度较薄, 仅为70 m左右。断块型潜山主要分布在高青—平南地区和王家岗地区, 受多期断裂活动和深部热液的影响, 储集空间主要为断裂带附近和褶皱顶部的裂缝以及沿其分布的溶蚀孔洞。

关键词: 储集空间; 储层发育模式; 碳酸盐岩古潜山; 下古生界; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Characteristics and development patterns of reservoir space of the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag, Bohai Bay Basin

Zan Nianmin^{1,2}, Wang Yanzhong^{1,2}, Cao Yingchang^{1,2}, Yuan Guanghui¹, Cheng Xin¹, Jiang Wei¹, Jia Guanghua³, Song Mingshui³

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China]

Abstract: The Cambrian and Ordovician carbonate reservoirs in Dongying Sag of the Bohai Bay Basin are highly heterogeneous due to multiple stages of tectonic activities and diagenesis they have experienced. Pore space and its development patterns in the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag were systematically studied through an integration of logging, core, thin section, carbon and oxygen isotope, fluid inclusion as well as seismic data. The pore space is dominated by fracture, solution cavities and dissolved pore. The solution cavities are mostly of lime mud type and inter-breccia type. The fractures are mainly tectoclasts and solution fractures. And the pores include inter-breccia dissolution pores, intra-vein dissolution pores and intercrystalline dissolution pores. The Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag are largely of residual mound-type and fault-block type. The former is distributed in Caoqiao and Zhengjia-Wangzhuang areas and nurtured weathering crust reservoirs with its vertical vadose zone and horizontal phreatic zone caused by unconformities. Pore space there is mostly high-angle fracture, inter-breccia solution cavity and horizontal layered solution cavity. They usually have massive epigenetic karst belt and are high-quality reservoirs for hydrocarbon with well-connected large fractures and pores. The hills dominated by limestone have epigenetic karst belts as thick as 170 m, while

收稿日期: 2017-01-03; 修订日期: 2017-12-12。

第一作者简介: 咎念民(1993—), 男, 硕士研究生, 沉积学与储层地质学。E-mail: s16010023@s.upc.edu.cn。

通讯作者简介: 王艳忠(1980—), 男, 博士、副教授、硕士生导师, 沉积学及储层地质学。E-mail: wangyanzhong1980@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05006-007); 中央高校基本科研业务经费专项资助项目(17CX05009, 15CX08001A)。

those controlled by dolomites have thinner epigenetic karst belts of only 70 m in thickness. The latter is distributed in Gaoqing-Pingnan and Wangjiagang areas. Influenced by multi-stage faulting and deep hydrothermal activities, this type of hills contains mostly reservoirs with pore space dominated by fractures near faults and on crest of folds, as well as dissolution pores and vugs developed along the fractures.

Key words: reservoir space, reservoir development pattern, carbonate buried hill, Lower Paleozoic, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

自20世纪70年代我国古潜山勘探以来,相继在渤海湾盆地的济阳坳陷、冀中坳陷和黄骅坳陷,塔里木盆地塔北隆起、塔中地区以及鄂尔多斯盆地靖边地区发现了一系列下古生界碳酸盐岩古潜山油气藏^[1-9]。近年来,济阳坳陷东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山油气勘探取得了突破,证明东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山具有良好的油气勘探潜力,如滨古24井在2 502.4~2 507.8 m钻探到下古生界风化壳储层,自喷产油可达128 t/d。目前,东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山研究主要集中在南部斜坡草桥—广饶潜山带和平方王—平南潜山带的风化壳储层^[10]。前人研究认为,东营凹陷下古生界碳酸盐岩经历晚加里东期—早海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多期构造运动,遭受了多期次表生岩溶作用和埋藏岩溶作用,优质储层主要集中在奥陶系风化壳附近,不整合面以下储层储集性能较好,储集空间以溶蚀孔洞和裂缝为主^[11-15]。此外,有学者研究发现距离不整合面较远的潜山内幕发育大量裂缝和溶洞^[16-18]。但是,东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山油气藏整体勘探程度较低,针对储层储集特征和控制因素尚未开展系统的研究,还存在以下主要问题:储层研究主要集中在局部风化壳储层,对风化壳储层的垂直分带性以及潜山内幕储层储集空间和分布特征研究较少,尚未开展潜山结构对储集空间组合及其分布的研究。

本文以东营凹陷草桥—王家岗、高青—平南地区下古生界碳酸盐岩古潜山为研究对象,在储层储集空间类型及特征研究的基础上,探讨了潜山结构对碳酸盐岩储层储集空间特征及分布的影响,建立了东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山储层发育模式。

1 区域地质概况

东营凹陷位于济阳坳陷东南部,属于济阳坳陷内最大的次级负向构造单元。东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山主要集中在北部郑家—王庄、西部高青—平南和南部草桥—王家岗等地区(图1a—d),已探明下古生界碳酸盐岩古潜山石油地质储量达 $3\,747\times 10^4$ t。

东营凹陷下古生界区域构造演化背景受控于渤海湾盆地构造动力学演化,主要经历了古生代稳定沉降阶段、三叠纪至早—中侏罗世褶皱隆升阶段、晚侏罗世至白垩纪初步断陷阶段、新生代早期裂陷扩张阶段以及新生代晚期整体坳陷阶段5个阶段^[19]。

东营凹陷下古生界残余地层由寒武系和奥陶系组成(图1e)。寒武系包括馒头组、毛庄组、徐庄组、张夏组、崮山组、长山组和凤山组,厚约10~300 m。奥陶系包括冶里—亮甲山组、马家沟组和八陡组,厚约20~700 m。高青—平南地区地层发育较为连续、完整,从高青至平南地区地层厚度逐渐减薄(图1b,c)。郑家—王庄地区地层严重缺失,仅部分地区残留寒武系(图1b,d)。草桥地区上古生界以及中生界缺失严重,多数地区下古生界之上直接覆盖新生界,由草桥向王家岗地区地层发育变全,厚度增大(图1d)。东营凹陷下古生界碳酸盐岩主要包括灰泥石灰岩、细—中晶灰岩、砾屑灰岩、白云质灰岩和泥质灰岩共5种灰岩类型及云泥白云岩、细—中晶白云岩、灰质白云岩、泥质白云岩以及砾屑白云岩共5种白云岩类型,寒武系以灰泥石灰岩、云泥白云岩和泥质灰岩为主,奥陶系岩性主要为灰泥石灰岩、云泥白云岩、白云质灰岩和泥质灰岩。

2 储集空间特征

2.1 溶洞

2.1.1 灰泥溶洞

灰泥溶洞指灰泥石灰岩中非选择性溶蚀产生的溶洞,此类溶洞规模较大,地层中易形成大型的溶洞,有时会导致钻井过程中泥浆漏失,取心收获率低的现象。岩面上观察到的规模较大的溶洞直径约为2~5 cm(图2a),规模较小的溶洞直径约为2~10 mm,部分溶洞呈蜂窝状排列。

2.1.2 角砾间溶洞

角砾间溶洞主要发育在砾屑灰岩(白云岩)中,溶蚀矿物为角砾间充填物如灰泥和方解石胶结物等,一般位

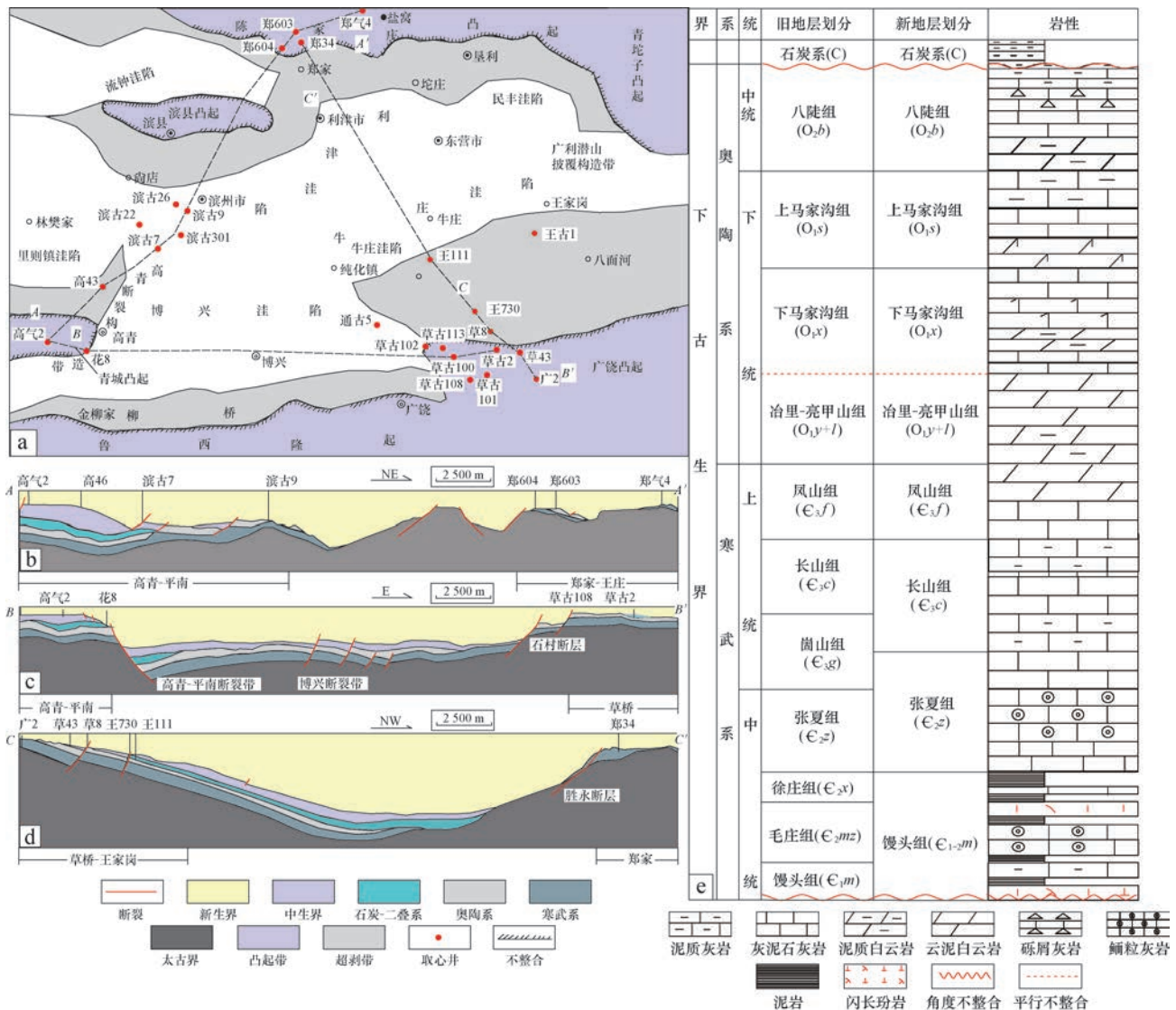


图1 东营凹陷下古生界古潜山分布及地层特征

Fig. 1 Distribution and stratum characterization of the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag

a. 东营凹陷区域构造; b. 过 AA' 地层剖面; c. 过 BB' 地层剖面; d. 过 CC' 地层剖面; e. 东营凹陷下古生界综合柱状图

于不整合面附近,常见于马家沟组,其次是冶里-亮甲山组。草古 113 井埋深 863.9 ~ 869.3 m 下马家沟组砾屑灰岩中发育大量的角砾间溶洞,溶洞直径介于 5 ~ 15 mm,可见溶洞内含油(图 2b)。

2.2 裂缝

2.2.1 构造缝

构造缝按照成因可以分为张裂缝与剪切裂缝。张裂缝倾角较大,裂缝宽度普遍较大,裂缝壁较为粗糙。剪切裂缝一般呈共轭产出,裂缝平直,裂缝壁通常较为光滑,宽度较小甚至闭合,多数剪切缝被后期充填(图 2c)。研究区构造缝密度平均为 3.92 条/m,随着距断层距离的增大,构造缝的密度呈指数形式降低(图 3a),受断层影响较大的滨古 26 井下马家沟组及

冶里-亮甲山组构造缝密度可达 16.4 条/m,裂缝宽度 1 ~ 6 mm 不等。

构造裂缝根据产状又可分为高角度缝、斜交缝和低角度缝。高角度缝指裂缝近乎直立,与水平方向夹角介于 70° ~ 90°。研究区该类裂缝较为发育,常见于不整合面附近及断裂附近,滨古 26 井下马家沟组断层附近埋深 2 427.79 ~ 2 435.52 m 处多发育高角度裂缝,密度可达 10.22 条/m,宽度为 0.5 ~ 5 mm。草古 100 井下马家沟组不整合面附近埋深 665.39 ~ 677.38 m 处高角度缝发育,密度约为 6.7 条/m;斜交缝指裂缝与水平方向夹角介于 20° ~ 70°,该类裂缝在研究区较为常见,宽度不一。滨古 26 井冶里-亮甲山组埋深 2 510.6 ~ 2 518.38 m 及 2 536.17 ~ 2 544.29 m 处多以斜交缝为主(图 2e),密度可达 25.9 条/m;低角度缝

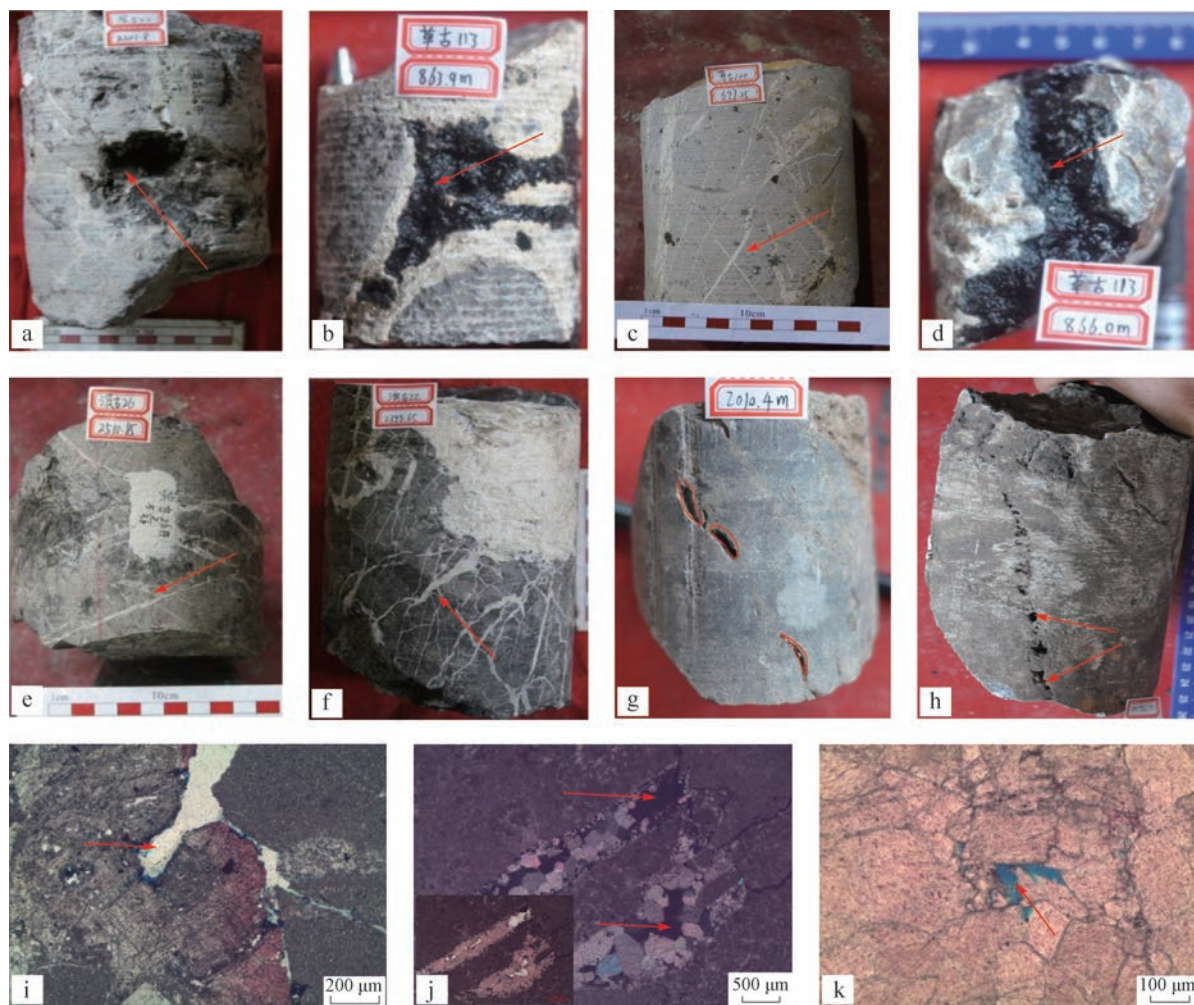


图2 东营凹陷下古生界碳酸盐岩储层储集空间特征

Fig. 2 Characteristics of pore space in the Lower Paleozoic carbonates in Dongying Sag

a. 滨古22井,埋深2 202.8 m,灰泥溶洞,岩心;b. 草古113井,埋深866.0 m,角砾间溶洞,岩心;c. 草古100井,埋深697.25 m,剪切缝,方解石充填,岩心;d. 草古100井,埋深687.74 m,溶蚀缝,岩心;e. 滨古26井,埋深2 510.85 m,斜交缝,岩心;f. 草古100井,埋深673 m,网状缝,岩心;g. 滨古9井,埋深2 010.4 m,裂缝及沿裂缝边缘溶蚀孔洞,呈串珠状分布,岩心;h. 滨古26井,埋深2 795.70 m,裂缝及沿裂缝边缘溶蚀孔洞,呈串珠状分布,岩心;i. 通古5井,埋深1 881 m,角砾间溶孔,普通薄片,单偏光;j. 王古1井,埋深3 442.7 m,方解石脉内溶孔,普通薄片,正交光;k. 滨古301,埋深204.39 m,晶间溶孔,铸体薄片,单偏光

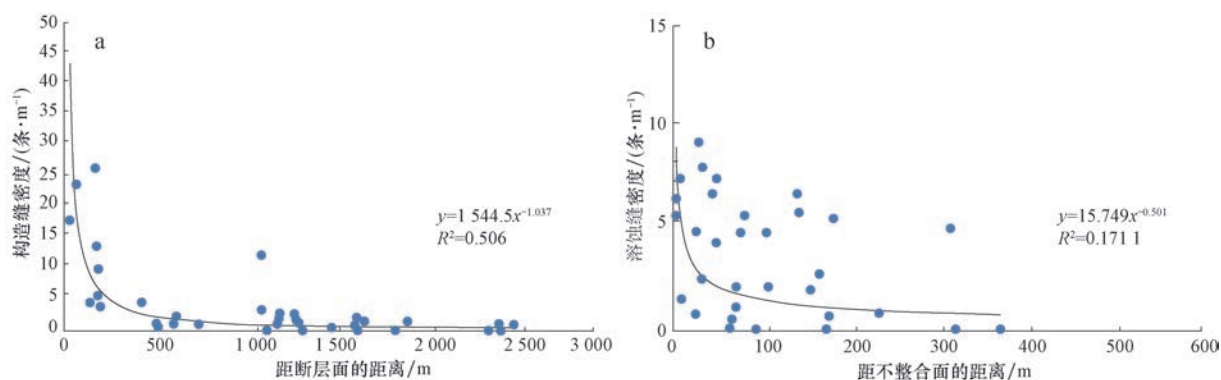


图3 东营凹陷下古生界裂缝密度与断层面及不整合面距离的关系

Fig. 3 Relationship between fracture density and its distance to fault and unconformity in Dongying Sag

a. 构造裂缝密度与距断层距离的关系;b. 溶蚀缝密度与距不整合面距离的关系

指裂缝与水平方向夹角小于 20° ,研究区发育较少。

2.2.2 溶蚀缝

溶蚀缝是后期流体沿先前裂缝溶蚀扩大形成的裂缝,缝壁不平整、呈港湾状,同一条溶蚀裂缝不同位置开度不一致,岩心上裂缝最宽可达 $3\sim 4\text{ cm}$ (图2d)。从裂缝产状上,溶蚀缝通常为不规则网状,表现为多组细小的裂缝交织在一起形成不规则网脉状,裂缝宽度通常较小,一般小于 0.7 mm ,裂缝延伸较短,形态不规则(图2f)。按照发育位置及规模溶蚀缝可分为两种类型,一种分布在浅层不整合面附近,沿构造或前期溶蚀缝溶蚀扩大形成的溶洞,溶洞尺度为可达厘米级,以滨古9井埋深 $2\,308.8\text{ m}$ 处最为典型,溶洞沿裂缝分布,椭圆形 $0.8\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 左右(图2g);另一种是在距离不整合面较远的位置,规模相对较小,一般介于 $2\sim 5\text{ mm}$,如滨古26井埋深 $2\,780\sim 2\,806\text{ m}$ 处张夏组上部可见大量的由裂缝扩溶形成的溶洞,沿裂缝分布,呈串珠状(图2h)。研究区溶蚀缝的密度平均为 3.99 条/m ,溶蚀缝的发育程度主要受不整合面的影响,越靠近不整合面溶蚀缝密度越大(图3b)。

2.3 孔隙

2.3.1 角砾间溶孔

角砾间方解石胶结物溶蚀形成的孔隙。该类孔隙规模不一,较大的孔隙直径约为 2 mm ,较小的孔径不足 1 mm (图2i)。

2.3.2 脉内溶孔

脉内溶孔指裂缝内充填的方解石脉体后期发生溶蚀形成的孔隙^[20],有利于改善储层储集性能。该类孔隙在研究工区较为常见,不同岩性、不同组段都有发育,孔径一般较小,多在 $0.5\sim 2\text{ mm}$ (图2j)。

2.3.3 晶间溶孔

晶间溶孔主要指细-中晶白云岩中白云石晶体经过溶蚀形成的晶间扩溶孔^[20],孔径较小,一般小于 1 mm (图2k)。

3 古潜山结构

3.1 残丘型古潜山

东营凹陷下古生界碳酸盐岩残丘型古潜山主要分布在北部郑家—王庄地区和南部草桥地区,高青—平

南地区仅局部小范围发育残丘型潜山(图1c,d)。草桥地区潜山位于东营凹陷南部缓坡带(图4a),该潜山形成于印支运动末期,由于长期处于构造高部位,潜山自形成以来长期遭受到强烈剥蚀,直到第三纪才接受沉积,潜山地层自北向南依次变老,分别由奥陶系与寒武系组成^[13](图1c,d)。东营凹陷北部郑家—王庄潜山在印支运动早期抬升至构造高部位,下古生界开始遭受剥蚀,新生代构造活动使潜山顶部进一步抬升,下古生界进一步遭受剥蚀^[21]。郑家—王庄潜山奥陶系与寒武系残余较少,多数井古近系之下直接为太古界(图1b,d)。

3.2 断块型古潜山

东营凹陷断块型潜山主要分布在西部高青—平南地区和王家岗地区。高青—平南地区断块型潜山主要受控于高青—平南断裂,该断裂是长期继承性活动的基底大断层,自中生代末期(燕山运动晚期)开始活动,至新近纪活动减弱^[22-24]。高青—平南地区常见单斜断块型潜山和褶皱断块型潜山两种类型(图4b)。单斜断块型潜山多分布在高青地区,上覆厚层的上古生界和中生界(图4b),褶皱断块型潜山多分布在平南地区,上覆薄层的上古生界(图4b)。王家岗地区,经历了从古生代到新生代的多次挤压与拉张应力叠加,主要发育受控于印支期挤压褶皱运动和燕山期断块作用的逆冲褶皱断块型潜山。

3.3 残丘型古潜山储集空间组合及分布

残丘型潜山经历多期构造抬升和强烈的表生风化剥蚀作用,多数残丘型潜山缺失石炭系-二叠系及侏罗-白垩系,下古生界之上直接覆盖新生界(图1c,d),不整合面附近的表生岩溶作用是控制残丘型潜山储集空间分布的关键。残丘型潜山在垂向上可划分出3个岩溶带,自上而下为垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带^[7,13,25-27]。

垂直渗流带由于受到下渗大气淡水强烈的溶蚀作用,发育高角度溶蚀裂缝,小型溶蚀孔洞呈串珠状分布,裂缝及其伴生的串珠状溶蚀孔洞是垂直渗流带良好的储集空间(图5a,b)。同时,强烈溶蚀区域后期易发生垮塌,形成大量角砾(图5a,b),部分溶蚀缝洞充填角砾和粘土。在水平潜流带,由于地下水在水平方向快速流动,形成地下暗河,发育大量近水平层状溶蚀缝洞(图5a,b),水平的层状溶蚀缝洞为水平潜流带良好的储集空间。可见角砾呈水平定向排列,角砾自下而上粒度由粗变细,表现出正韵律,角砾磨圆较差,为

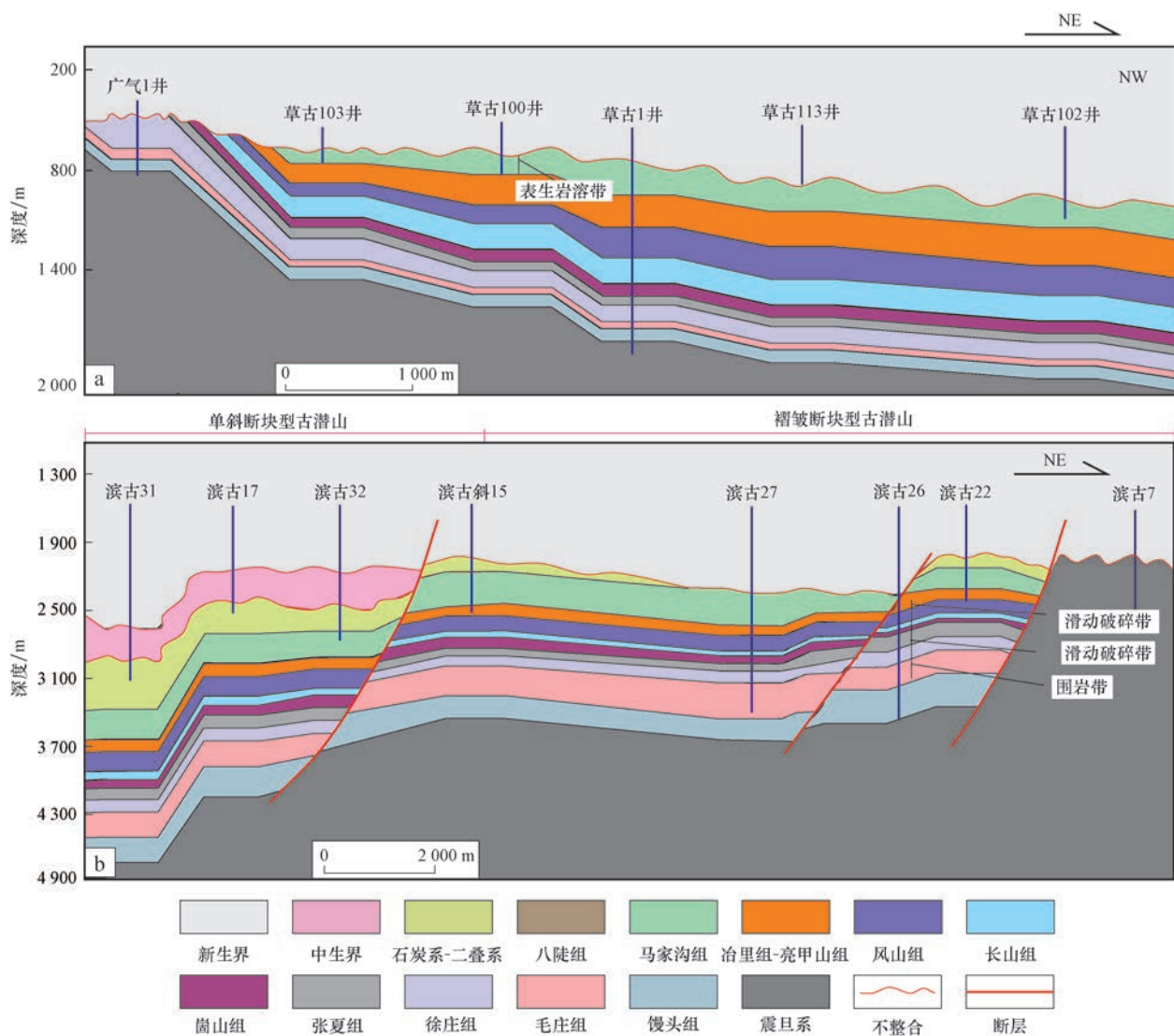


图4 东营凹陷下古生界古潜山特征

Fig. 4 Features of the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag

a. 草桥地区残丘型古潜山; b. 高青—平南地区断块型古潜山

次圆—次棱角状,支撑方式从杂基支撑过渡为颗粒支撑,呈现暗河搬运沉积特征。深部缓流带受大气淡水影响较弱,岩溶作用较弱,仅见张开度较小的高角度裂缝及零星分布的小溶洞(图5b),小型溶蚀缝洞为深部缓流带内主要储集空间。

对比草桥地区与高青—平南地区残丘型潜山发现,灰岩地层的表生岩溶带较厚,草古100井不整合面之下为马家沟组,地层岩性主要为灰岩,垂直渗流带和水平潜流带总厚度可达170 m(图5a),而滨古9井不整合面之下为冶里组—亮甲山组,白云岩含量较高,表生岩溶带较薄,约70 m(图5b)。

3.4 断块型古潜山储集空间组合及分布

东营凹陷大多数断块型潜山储层上覆中生界及上

古生界,受不整合面影响较弱,表生岩溶作用较弱,储集空间的形成主要受控于断裂活动强度。根据断裂破碎强度,断裂带可划分为滑动破碎带、诱导裂缝带和围岩带^[28]。滨古26井在埋深2 440 m处钻遇断层,其中滑动破碎带内角砾化较为强烈,角砾间溶蚀孔洞及脉体内溶孔较为发育(图6),储集性能较好。断层角砾排列杂乱,角砾碎块多带有棱角,但有时因挤压、滚动而圆化,角砾间充填泥质、碳酸盐或其他类型胶结物以及沥青质。诱导裂缝带内诱导裂缝发育,储集空间主要为裂缝及其伴生的溶蚀孔隙(图6)。围岩带内岩石未发生破碎,裂缝不发育或密度低,孔隙度和渗透率低。王家岗地区主要发育褶皱断块型潜山,顶部发育上古及中生界地层,遭受淋滤相对较弱,强烈的褶皱作用使其顶部裂缝发育,断层与裂缝的存在促进了晚期埋藏溶蚀作用。

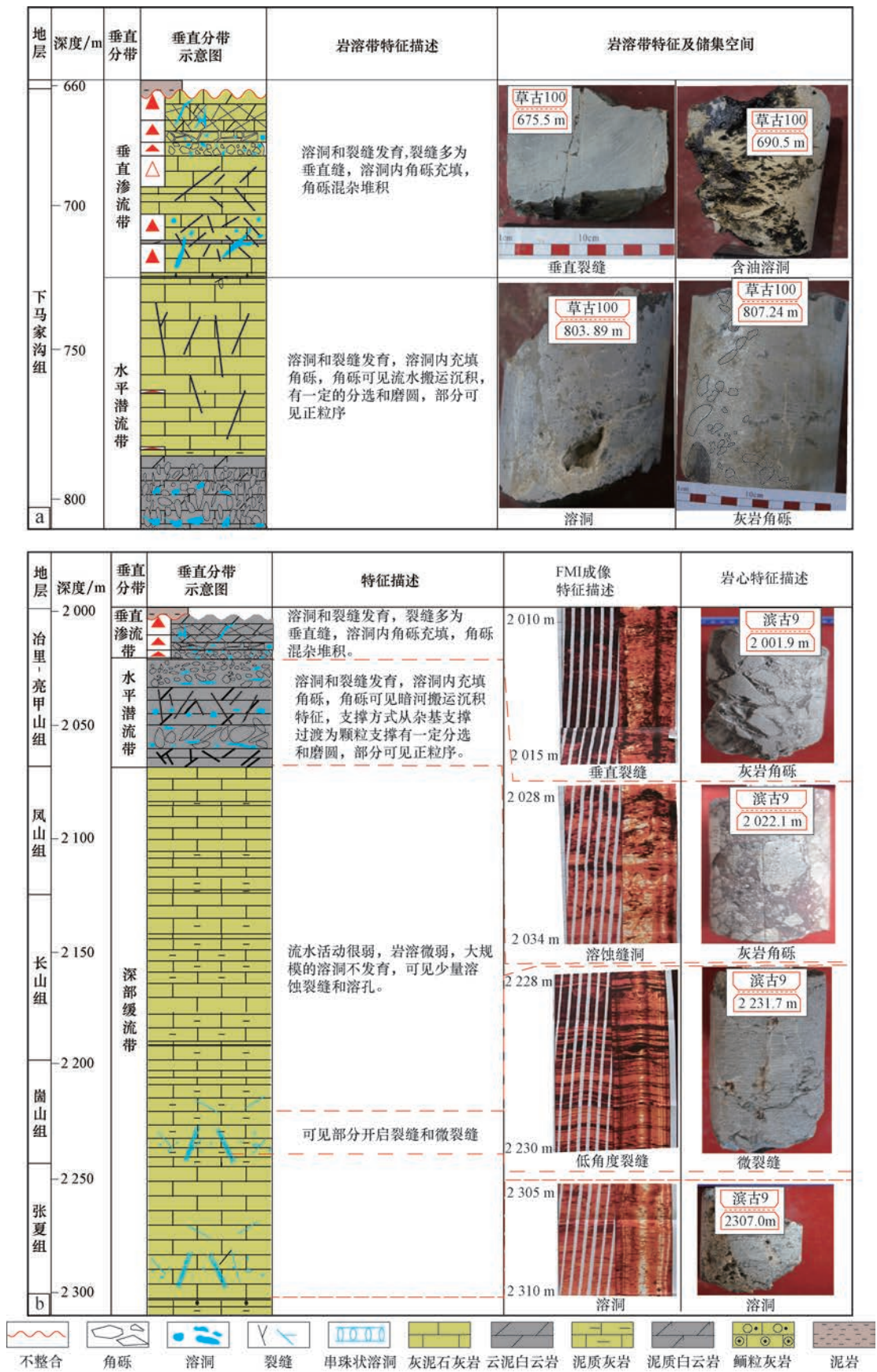


图 5 东营凹陷下古生界残丘型古潜山岩溶剖面

Fig. 5 Karst cross-section of buried hills of residual mound type in the Lower Paleozoic of Dongying Sag

a. 草古 100 井,埋深 640 ~ 810 m,残丘型古潜山,岩心;b. 滨古 9 井,埋深 1 998 ~ 2 310 m,残丘型古潜山,岩心

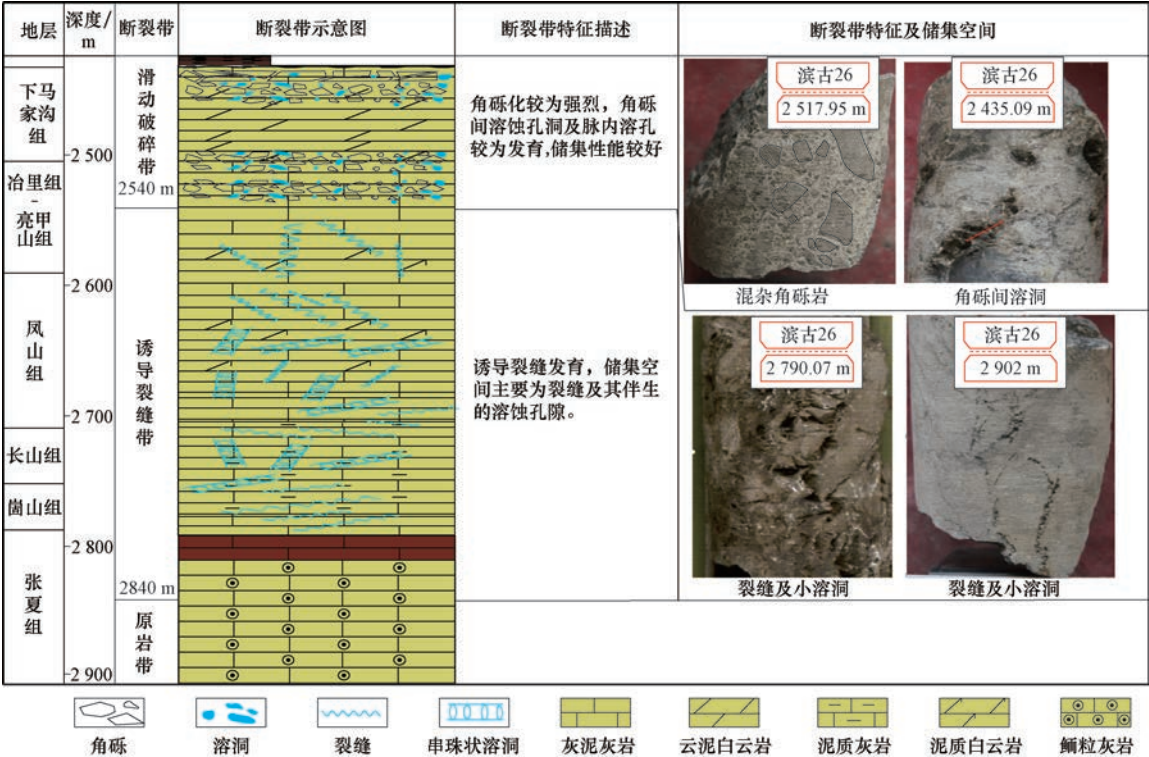


图 6 东营凹陷下古生界滨古 26 井断裂分带性与储集空间组合的关系

Fig. 6 Relationship between fault zonation and reservoir space in Well Binggu - 26 in the Lower Paleozoic of Dongying Sag

4 储层发育模式

4.1 残丘型古潜山储层发育模式

在加里东时期,郑家—王庄地区和草桥地区由于处于构造高部位,地层经历了面积较广持续时间较长的风化岩溶作用,在潜山顶部形成风化壳储层,垂向上表现为垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带 3 个岩溶带(图 7a),岩溶带内发育各类溶蚀孔洞缝。加里东时期强烈的风化岩溶作用明显改造了泥晶灰岩与云泥白云岩等致密地层。尽管该时期形成的大量储集空间遭受到后期不同程度的胶结充填破坏,但是,加里东时期强烈的岩溶作用形成的储集空间为后期岩溶作用奠定了有效的基础。印支期与燕山期强烈的断块运动,表生风化作用使郑家—王庄地区和草桥地区上古生界剥蚀殆尽,下古生界不同程度的出露地表遭受岩溶作用,但是该时期岩溶作用规模较弱,持续时间较短,只是对加里东时期岩溶作用形成的储层进行叠加改造。

4.2 断块型古潜山储层发育模式

加里东时期,高青—平南地区和王家岗地区遭受较弱的风化岩溶作用,在不整合面附近,风化壳储层不

如残丘型潜山发育,仅发育较薄的表生岩溶带(图 7b)。印支期和燕山期强烈的断块运动明显改造断块型潜山储集空间,断裂活动不仅产生大量裂缝,而且在断层上盘附近形成明显的滑动破碎带和诱导裂缝带(图 6,图 7b)。前人对济阳凹陷下古生界碳酸盐岩裂缝中充填的方解石脉碳氧同位素测试表明,加里东时期形成的裂缝主要为网状裂缝,裂缝中充填的方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.824\text{‰} \sim -3.423\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-6.357\text{‰} \sim -12.000\text{‰}$;印支期形成的裂缝主要为低角度裂缝,裂缝中充填的方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.363\text{‰} \sim -3.921\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-12.356\text{‰} \sim -13.385\text{‰}$;燕山期—喜马拉雅期形成的裂缝主要为高角度裂缝,裂缝中充填的方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.663\text{‰} \sim -2.321\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-16.356\text{‰} \sim -17.385\text{‰}$ [6,28]。东营凹陷断块型古潜山裂缝中充填的方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.8\text{‰} \sim -5.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-9.3\text{‰} \sim -22.4\text{‰}$ (表 1),反映东营凹陷下古生界碳酸盐岩储层发育加里东时期网状裂缝为主,印支期低角度裂缝为主,燕山期—喜马拉雅期以高角度裂缝为主的 3 期裂缝。断层沟通深部热液对断裂带附近的潜山内幕地层进行改造,断裂带附近常发育大量裂缝及溶蚀孔洞(图 6,图 7b)。东营凹陷下古生界潜山内幕地层中常见闪长玢岩侵入体,在镜下薄片可见到硅质脉体、黄铁矿与硅质共生、硬石膏脉体等热

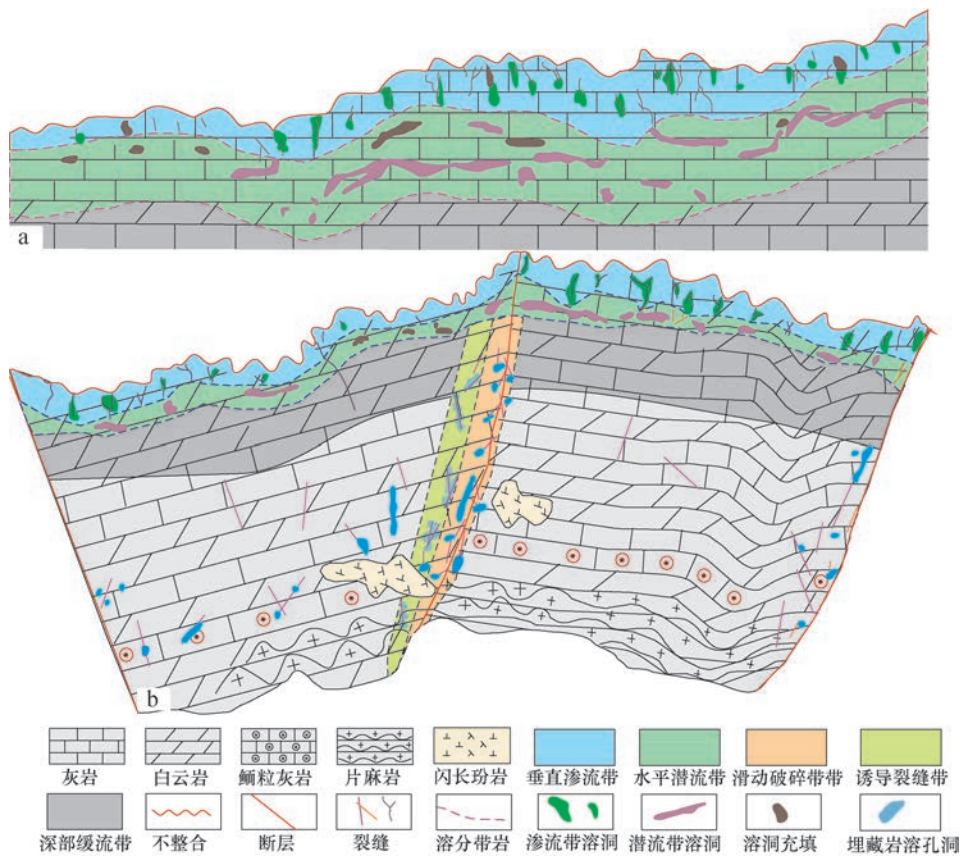


图 7 东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山储层发育模式

Fig. 7 Development patterns of the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag

a. 残丘型古潜山;b. 断块型古潜山

表 1 东营凹陷下古生界碳酸盐岩裂缝中方解石脉体碳、氧同位素特征

Table 1 Carbon and oxygen isotopic features of calcite veins in fractures of the Lower Paleozoic carbonate rocks, Dongying Sag

井号	深度/m	裂缝产状	$\delta^{13}\text{C}(\text{V}-\text{PDB})/\%$	$\delta^{18}\text{O}(\text{V}-\text{PDB})/\%$
滨古 26	2 538.02	网状裂缝	-1.90	-9.70
滨古 26	2 539.82	低角度裂缝	-2.51	-12.87
滨古 26	2606.55	高角度裂缝	-1.29	-15.19
滨古 26	2 606.55	高角度裂缝	-1.70	-17.80
滨古 26	2 606.55	高角度裂缝	-1.08	-18.66
滨古 26	2 606.55	高角度裂缝	-1.80	-22.40
草古 100	693.78	网状裂缝	-5.20	-9.30
草古 101	695.58	网状裂缝	-5.20	-10.70
草古 102	695.58	网状裂缝	-2.60	-10.40
草古 100	699.40	低角度裂缝	-2.50	-12.80
草古 113	858.80	低角度裂缝	-4.60	-13.30

液矿物组合(图 8a—c),另外碳酸盐岩裂缝充填的方解石脉体中的盐水包裹体中均一温度可高达 150 ~ 190 ℃ (图 8d),这些证据表明,东营凹陷下古生界潜山内幕储层普遍遭受深部热液的埋藏岩溶作用影响。前人研究

也证实,在高青—平南潜山带,深部热液流体沿高青—平南深大断裂侵入造成该区发生强烈岩溶^[6,28]。

5 结论

1) 东营凹陷下古生界碳酸盐岩储层储集空间包括溶洞、裂缝和孔隙 3 种类型储集空间。溶洞主要包括灰泥溶洞和角砾间溶洞,裂缝主要包括构造缝和溶蚀缝,孔隙主要包括角砾间溶孔、脉内溶孔和晶间溶孔。

2) 东营凹陷下古生界主要发育残丘型和断块型两种古潜山。残丘型潜山主要分布在草桥地区和郑家—王庄地区,断块型潜山主要分布在高青—平南地区和王家岗地区。草桥地区和郑家—王庄地区下古生界遭受长期风化剥蚀,表生岩溶作用强烈,垂直渗流带和水平渗流带岩厚度大,垂直渗流带储集空间主要为垂直裂缝以及沿裂缝分布的串珠状溶蚀孔洞,水平渗流带储集空间主要为水平层状分布的溶蚀缝洞,灰岩地层表生岩溶带可达 170 m,发育较好的风化壳储层,白云岩表生岩溶带较薄,只有 70 余米。高青—平南地区、王家岗地区受加里东时期、印支期、燕山期—喜马

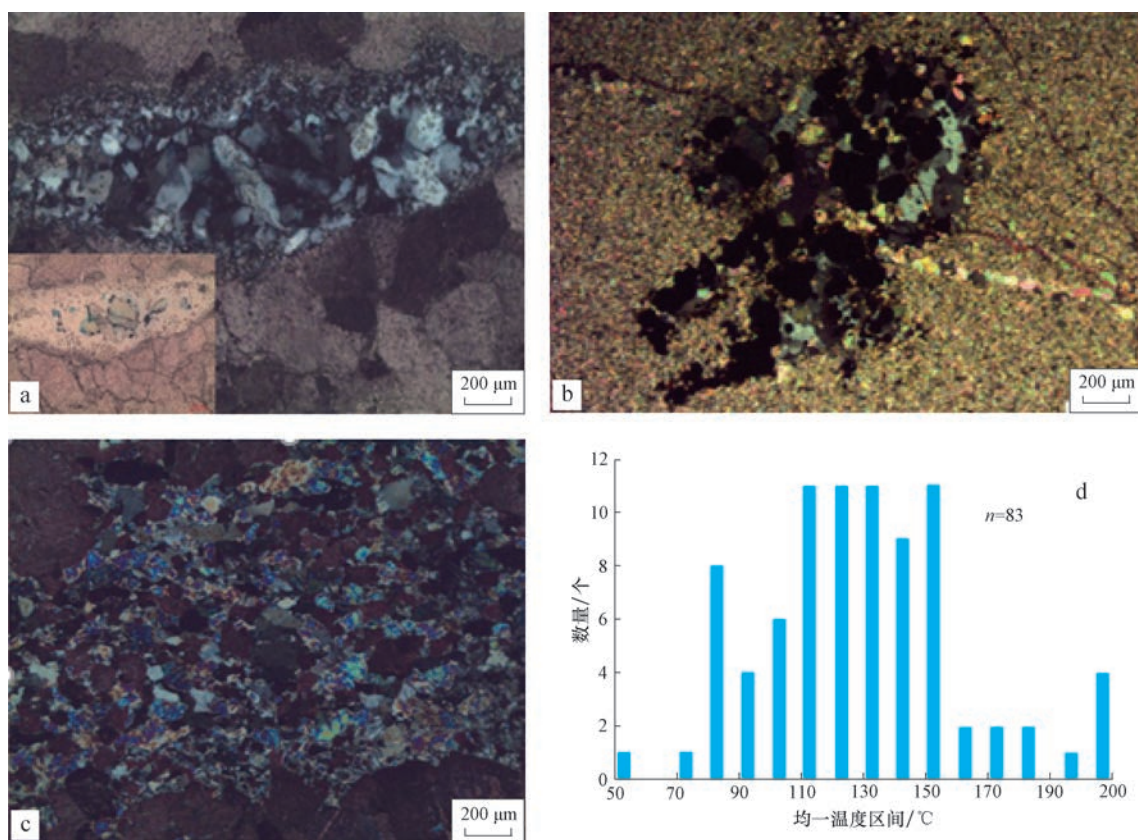


图8 东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山深部热液证据

Fig. 8 Evidences showing the existence of hydrothermal solution in the Lower Paleozoic buried hills in Dongying sag

a. 滨古301井,埋深2 044.39 m,硅质脉体,铸体薄片,正交光;b. 草古100,埋深679.1 m,黄铁矿和硅质共生,铸体薄片,正交光;c. 滨古22井,埋深2 399 m,硬石膏脉体,铸体薄片,正交光;d. 东营凹陷下古生界碳酸盐岩方解石脉体中盐水包裹体均一温度分布

拉雅期3期强烈的断裂活动影响,在断裂带附近及褶皱顶部易形成大量裂缝及溶蚀孔洞等储集空间,此外深部热液沿断层及裂缝对深大断裂附近地层进行改造形成潜山内幕储层。

参考文献

- [1] 董月霞,赵宗举,曹中宏,等. 南堡凹陷奥陶系碳酸盐岩溶残丘圈闭勘探潜力及意义[J]. 石油学报,2015,36(6):653-663.
Dong Yuexia, Zhao Zongju, Cao Zhonghong, et al. Exploration potential and significance of Ordovician carbonate karst monadnock traps in Nanpu sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(6): 653-663.
- [2] 赵贤正,王权,金凤鸣,等. 冀中坳陷隐蔽型潜山油气藏主控因素与勘探实践[J]. 石油学报,2012,39(2):137-143.
Zhao Xianzheng, Wang Quan, Jin Fengming, et al. Types of subtle buried-hill oil reservoirs and their accumulation sinulation in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 137-143.
- [3] 李阳,范智慧. 塔河奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞系统发育模式与分布规律[J]. 石油学报,2011,32(1):101-106.
Li Yang, Fan Zhihui. Developmental pattern and distribution rule of the fracture-cavity system of Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 101-106.
- [4] 杨海军,韩剑发,孙崇浩,等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶型储

层发育模式与油气勘探[J]. 石油学报,2011,32(2):199-205.

Yang Haijun, Han Jianfa, Sun Chonghao, et al. A development model and petroleum exploration of karst reservoirs of Ordovician Yingshan Formation in the northern slope of Tazhong palaeouplift[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(2): 199-205.

- [5] 王拥军,张宝民,董月霞,等. 南堡凹陷奥陶系潜山岩溶塌陷体识别、储层特征及油气勘探前景[J]. 石油学报,2012,33(4):570-580.

Wang Yongjun, Zhang Baomin, Dong Yuexia, et al. Identification, reservoir characteristics and hydrocarbon exploration prospect of karstic collapsed systems of Ordovician buried hills in Nanpu sag, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(4): 570-580.

- [6] 王永诗,李继岩. 济阳坳陷平方王油田碳酸盐岩潜山内幕储层特征及其主控因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2017,41(4):27-35.

Wang Yongshi, Li Jiyang. Characteristics and main controlling factors of layered reservoir in buried hill of carbonate rock in Pingfangwang Oilfield, Jiyang Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(4): 27-35.

- [7] 李丕龙,张善文,王永诗. 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.

Li Pilong, Zhang Shanwen, Wang Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 28-31.

- [8] 马立驰,王永诗,姜在兴,等. 断陷盆地碳酸盐岩潜山储层模

- 式——以渤海湾盆地济阳坳陷为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 21–24.
- Ma Lichi, Wang Yongshi, Jiang Zaixing, et al. Reservoir model of carbonate buried-hill in rifted basin-taking the jiyang depression as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 21–24.
- [9] 宋国奇. 胜利油区古生界地质特征及油气潜力[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000.
- Song Guoqi. Geological characteristics and hydrocarbon potential of Paleozoic in Shengli Oil Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences press, 2000.
- [10] 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): 35–37.
- Fan Cuntang, Feng Youliang, Fu Jinping. Analysis on conditions and rules of reservoir forming of buried hill in Dongying sag[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2002, 9(4): 35–37.
- [11] 吕修祥. 渤海湾盆地八面河地区潜山油气聚集[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 23–29.
- Lu Xiuxiang. Petroleum accumulation in buried hills in bamianhe area of bohai bay basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 23–29.
- [12] 于红枫, 王英民, 李雪. 渤海湾盆地东营凹陷八面河地区潜山油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 323–328.
- Yu Hongfeng, Wang Yingmin, Li Xue. Buried hill reservoirs in Bamianhe area of Dongying depression, Bohai Bay basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 323–328.
- [13] 马丽娟, 何新贞. 草桥—广饶潜山油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 96–98.
- Ma Lijuan, He Xinzhen. Characteristics of buried hill oil pools in cao-qiao-guangrao[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 96–98.
- [14] 林松辉, 武玉祥. 东营凹陷西部潜山油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 360–363.
- Lin Songhui, Wu Yuxiang. Pool features of buried hill in west part of Dongying depression[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 360–363.
- [15] 王建伟, 宋国奇, 孙国, 等. 广饶潜山下古生界差异侵蚀对油气富集的控制作用[J]. 地质科学, 2016, 51(3): 908–919.
- Wang Jianwei, Song Guoqi, Sun Guo, et al. Differential erosion and its control effects on hydrocarbon accumulation of Lower Paleozoic in Guangrao buried hill of Dongying depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2016, 51(3): 908–919.
- [16] 张森, 陈清华. 东营凹陷高青—平方王潜山带油气藏类型及其成藏控制因素[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 46–48.
- Zhang Miao, Chen Qinghua. The types of reservoirs and its controlling factors in the Gaoqing-Pingnan buried hills in Dongying Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 46–48.
- [17] 袁红军, 曲萍. 济阳坳陷平方王—平南潜山带油气成藏模式[J]. 断块油气田, 2003, 10(4): 1–4.
- Yuan Hongjun, Qu Ping. The reservoir forming style of Pingfangwang-Pingnan buried hill belts in Jiyang Depression[J]. Fault Block Oil and Gas Field, 2003, 10(4): 1–4.
- [18] 李继岩, 王永诗, 刘传虎, 等. 热液流体活动及其对碳酸盐岩储集层改造定量评价——以渤海湾盆地东营凹陷西部下古生界为例[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 359–366.
- Li Jiyan, Wang Yongshi, Liu Chuanhu, et al. Hydrothermal fluid activity and the quantitative evaluation of its impact on carbonate reservoirs: A case study of the Lower Paleozoic in the west of Dongying sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration & Development, 2016, 43(3): 395–403.
- [19] 田亚铭. 渤海湾盆地东营凹陷南斜坡前第三系古潜山构造特征与油气性分析[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2005.
- Tian Yaming. Structural evolution and oil-gas accumulation analysis of buried hill in the south slop of Dongying Sag, Bohaiwan Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2005.
- [20] 陈强路, 钱一雄, 马红强. 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 729–734.
- Chen Qianglu, Qian Yixiong, Ma Hongqiang. Diagenesis and porosity evolution of the Ordovician carbonate rocks in Tahe oilfield, Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6): 729–734.
- [21] 辜延容, 谭必生. 东营凹陷郑家潜山构造演化及成藏条件分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(8): 142–142.
- Gu Yanrong, Tan Bisheng. Analysis of tectonic evolution and accumulation conditions in Zhengjia buried hill in Dongying Sag[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013(8): 142–142.
- [22] 康晏, 邹灵, 刘志勇, 等. 青城凸起中生界内幕断层及油气运聚特征[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(6): 45–48.
- Kang Yan, Zou Ling, Liu Zhiyong, et al. Characteristics of Mesozoic internal fault and hydrocarbon migration and accumulation in Qingcheng uplift [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 45–48.
- [23] 王强, 周瑶琪, 陈勇, 等. 平南大断层特征及与油气运聚的关系[J]. 特种油气藏, 2006, 13(1): 50–52.
- Wang Qiang, Zhou Yaoqi, Chen Yong, et al. The relation between Pingnan big fault and hydrocarbon migration and accumulation [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2006, 13(1): 50–52.
- [24] Loucks R G, Mescher P K, Mcmechan G A. Three-dimensional architecture of a coalesced, collapsed-paleocave system in the Lower Ordovician Ellenburger Group, central Texas [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(5): 545–564.
- [25] Tian Fei, Lu Xinbian, Zheng Songqing, et al. Structure and Filling Characteristics of Paleokarst reservoirs in the Northern Tarim Basin, revealed by outcrop, core and borehole images[J]. Open Geosciences, 2017, 9(1): 266–280.
- [26] Meng Xianghao, Wan Youli, Bai Xiaoliang. Characterization and origin of a dolomite reservoir in weathering crust: example from Ordovician in the Tabamiao Region, Northern Ordos, China [J]. Carbonates & Evaporites, 2016: 1–16.
- [27] 李丕龙. 多样性潜山成因、成藏与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- Li Pilong. Origin, accumulation and exploration of variety buried hills [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [28] 吴智平, 陈伟, 薛雁, 等. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. 地质学报, 2010, 84(4): 570–578.
- Wu Zhiping, Chen Wei, Xue Yan et al. Structural characteristics of faulting zone and its ability in transporting and sealing oil and Gas [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(4): 570–578.