



## 古潜山 Z 油田下古生界碳酸盐岩主控因素及储层发育模式

张 岚, 王少鹏, 吴穹源, 唐何兵, 李 卓

中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海石油研究院, 天津 300459

**摘 要:** 碳酸盐岩潜山是渤海重要的油气藏类型之一。以渤海区域重点开发目标 Z 油田为例, 应用钻测井、岩心、微观薄片及地震等基础资料, 对碳酸盐岩储层特征、形成机制及地质发育模式进行综合分析。明确了碳酸盐岩潜山储层岩性以白云岩为主, 储集空间为晶间孔、裂缝和溶蚀孔隙。碳酸盐岩潜山储层主要受沉积、成岩及构造因素控制。结合单井特征及垂向岩溶分带性, 将潜山纵向分为表层风化带、垂直渗流带和顺层溶蚀带。受成岩、构造等多因素影响, 上油组较下油组储层发育, 上油组储层全区发育, 下油组储层局限发育。明确了岩溶分带及储层展布地质模式, 为油田的下步调整和挖潜方向提供依据。

**关键词:** 碳酸盐岩; 潜山; 油气田; 岩溶分带; 储层模式; 渤海湾盆地

## MAIN CONTROLLING FACTORS AND RESERVOIR DEVELOPMENT MODEL OF LOWER PALEOZOIC CARBONATE ROCKS IN BURIED HILL Z OILFIELD

ZHANG Lan, WANG Shao-peng, WU Qiong-yuan, TANG He-bing, LI Zhuo

Bohai Petroleum Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC, Tianjin 300459, China

**Abstract:** Carbonate rock buried hill is one of the important oil-gas reservoirs in Bohai Sea. Taking Z Oilfield, the key development target in Bohai Sea area as an example, the characteristics, formation mechanism and geological development model of carbonate rock reservoir are comprehensively analyzed by using basic data such as drilling and logging, cores, microscopic thin sections and seismic data. The results show that the lithology of carbonate rock buried hill reservoir is mainly dolomite, with the reservoir spaces of intergranular pore, fracture and dissolution pore. Carbonate rock buried hill reservoir is mainly controlled by sedimentary, diagenetic and structural factors. Combined with the characteristics of single well and vertical karst zonation, the buried hill can be divided into surface weathering zone, vertical seepage zone and bedding dissolution zone. Under the influence of multiple factors such as diagenesis and structure, the reservoir in the upper oil formation is more developed than that in the lower, with full-region development for the former and limited development for the latter. The karst zoning and geological model of reservoir distribution provide the basis for next adjustment and potential tapping direction.

**Key words:** carbonate rock; buried hill; oil-gas field; karst zoning; reservoir model; Bohai Bay Basin

### 0 引言

经过多年勘探开发, 渤海湾盆地陆续发现了大量

碳酸盐岩潜山油气藏。潜山油田经历了多期构造演化过程, 导致潜山断裂系统复杂, 岩性种类多样, 储集层

收稿日期: 2021-03-09; 修回日期: 2021-11-23. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(编号 2011ZX05023-006-002).

作者简介: 张岚(1977—), 男, 高级工程师, 主要从事油气田开发工作, 通信地址 天津市滨海新区海川路 2121 号渤海石油管理局大厦 B 座, E-mail//zhanglan2@cnooc.com.cn

展布具有明显的非均质性及其差异性,其储集物性难以精准预测<sup>[1-2]</sup>。同时受海上资料录取、稀井网及开发成本,井网密度大,单井控储能力差,潜山研究不够系统深入,油气田开发程度远低于陆上油田,储层认识及规律尚不明确,难以准确把握,给油气田中后期滚动挖潜和高效开发带来了极大的困难。Z油田是渤海正在开发的碳酸盐岩潜山油田,因受构造、岩溶、沉积等影响,储层控制因素和分布规律不同,造成该区碳酸盐岩改造作用强,非均质性异常突出,主控因素及分布规律认识不清,导致常规的储层描述方法难以满足油气藏精细开发需求<sup>[3-4]</sup>。本文利用研究区内岩电特征、微观薄片、地震及生产动态等资料,开展储层储集空间及地质发育模式研究,对碳酸盐岩储层进行深入解剖,理清其发育的沉积机理和主控因素,明确碳酸盐岩的平面展布和发育规律,旨在为油气田下步滚动挖潜及综合调整提供地质依据和重要支撑。

## 1 地质概况

区域上,Z油田位于东西展布的渤南潜山带中部,属古潜山油田,中生代以前处于较高的隆起背景上。中生代的断块活动,使基底倾斜抬升,形成北西走向、北东倾没的单斜潜山(图1)。油田邻近生油凹陷,古近系生油岩覆盖于潜山之上,与潜山大面积接触,形成了典型的新生古储沉积特点,具有优越的油气聚集成藏条件。依据潜山储层发育规律,将下古生界碳酸盐岩潜山储层纵向上分为上、下两个油组。上油组岩性为不等粒白云岩、中-细晶白云岩,储集空间类型以孔隙-裂缝型为主,单井油气层厚度分布在31.8~246.5 m,平均有效孔隙度2.9%,试井分析有效渗透率52.0 mD;下油组岩性为粉晶、细晶白云岩夹薄层泥岩,储集空间类型为裂缝-孔隙型,单井油层厚度分布在31.3~74.9 m,平均有效孔隙度3.5%。

## 2 储层特征

### 2.1 岩石学特征

古生界碳酸盐岩潜山地层岩性较复杂<sup>[5]</sup>,研究区岩性主要为白云岩,其次为石灰岩。白云岩主要有泥晶白云岩、细晶(微晶)白云岩、中晶白云岩、粗晶(亮晶)白云岩以及颗粒白云岩;石灰岩主要有砂屑灰岩、鲕粒灰岩、泥晶灰岩等及云质灰岩。



图1 Z油田区域位置图

Fig. 1 Regional location map of Z Oilfield

1—凹陷(sag); 2—凸起(uplift); 3—走滑断层(strike-slip fault); 4—正断层(normal fault); 5—研究区(study area)

不同类型的白云岩、灰岩在镜下具有不同的显微结构特征。1)泥晶云岩:陆源石英呈棱角状,边缘多被白云石溶蚀,较均匀星散分布;晶间溶孔大小不等,呈圆—不规则状,不均匀星散分布;溶斑常见细晶他形白云石充填,泥质含量一般小于7%。2)粉晶(微晶)云岩:白云石晶体呈自形—半自形晶,偶见他形晶,晶体普遍含泥机质;具晶间溶孔,结构均一,质较纯,泥质含量少(一般不超过6%),部分晶间隙为炭质沥青(有机质)充填。3)砂屑(角砾)粉晶云岩:由泥晶白云石组成,粒度大约0.05~0.5 mm,部分具泥晶套,多呈长条不规则状,定向排列,条带状密集相间分布;基质为球粒状白云石;砂屑一般呈局部分布。4)亮晶鲕粒云岩:鲕粒大小为0.25~0.65 mm,呈圆—椭圆状,部分碎裂,由泥晶白云石组成,大部分边缘可见同心纹;胶结物为大小均匀的细粉晶白云石,部分围绕鲕粒呈栉壳状生长,普见粒内溶孔,面孔率4%~8%,亦见少量粒间溶孔;泥质含量少,一般小于3%。5)粉晶角砾云岩:角砾一般呈棱角状,部分界限不够明显,大小不等,为0.2~0.7 mm,局部富集;角砾由多结构组成,为质较纯的细粉晶粒状云石;从研究区的岩心照片及微观结构分析,角砾岩包含构造角砾及岩溶角砾。6)砂屑灰岩:指内碎屑含量大于50%、颗粒支撑结构的石灰岩;根据颗粒间充填物的不同可细分为粒间亮晶方解石灰岩、充填为主的亮晶砂屑灰岩和粒间灰泥充填为主的泥晶砂

屑灰岩;亮晶砂屑灰岩以浅灰、灰色为主,单层厚度大,呈中厚层状产出. 7) 鲕粒灰岩:以亮晶鲕粒灰岩为常见,鲕粒含量约80%,多为正常鲕,见少量复鲕,另含少量藻砂屑;颗粒分选良好,粒间为多期的亮晶方解石胶结,胶结物含量15%~20%. 8) 泥晶灰岩:以深灰色为主,颗粒含量小于10%,灰泥含量大于90%,可含少量粉屑、球粒和生屑;泥质含量一般在6%~12%,泥质含量增高时,可过渡为含泥灰岩、泥质灰岩.

## 2.2 储集空间类型

通过对研究区碳酸盐岩常规岩心薄片及铸体薄片的观察,结合电镜扫描资料,归纳总结其储集空间类型以晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔、粒内溶孔、溶缝、溶沟、构造缝为主,铸模孔、粒间孔、晶模孔少见. 根据孔隙的成因、大小、形态以及岩石组构等关系进行分类(表1). 碳酸盐岩储层的储集空隙(孔、洞、缝、喉)类型较多,但由于地层老,经历的地史时期长,成岩作用复杂,空隙多被白云石、方解石、石英和泥质等严重充填. 残留的储集空间有晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔,晚期的构造缝和少量的溶蚀缝(图2).

## 3 储层发育的主控因素

研究表明,成岩作用及构造作用是控制研究区碳酸盐岩储层发育的主要因素,而成岩作用中的白云岩化作用、溶蚀及淋滤作用决定着碳酸盐岩储层孔隙的发育和空间分布<sup>[6-8]</sup>. 因受多期构造作用影响,发育众

多断裂和由断裂活动而产生的裂缝. 构造作用产生的裂缝不仅扩大了储层的储集空间,还增加了储层的渗透性<sup>[9-10]</sup>. 沉积分异作用使储层早期分异,在特定条件下,储层早期分异可决定区域上的最终储集面貌. 这些因素共同控制了研究区碳酸盐岩储层的发育、分布特征和储层质量.

### 3.1 沉积作用

沉积相控制了各种沉积岩性的分布,也控制了早期白云岩化过程<sup>[11-13]</sup>. 研究区寒武系及奥陶系碳酸盐岩地层发育有开阔台地和局限台地两个大相. 开阔台地相进一步划分为颗粒滩和滩间海两个亚相及鲕粒滩、生屑滩和泥灰坪3种微相类型;局限台地相划分为潮坪亚相及云坪、灰坪、泥坪等5种微相类型.

据研究区不同岩相的物性孔隙度统计(表2),可以看出白云岩储层不仅物性最好,而且厚度最大,其次是灰质白云岩的物性较好,不同的岩性其储层厚度及物性差别较大. 从渗透率的分布特征可以看出,白云岩及灰质白云岩渗透率较大. 白云岩储层的渗透率较高,为 $377 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;还有灰质白云岩储层,其平均渗透率 $378 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . 除泥岩外,生屑灰岩储层的平均渗透率最差,为 $124 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

### 3.2 成岩作用

研究区碳酸盐岩埋藏深,经历的成岩作用异常复杂. 不同类型的储层中,成岩作用的控制程度受多种因素和条件制约,从而导致了储集性的差异<sup>[14]</sup>. 成岩

表1 Z油田碳酸盐岩储集空间类型表

Table 1 Types of reservoir space for carbonate rocks in Z Oilfield

| 储集空间 | 孔隙类型  | 发育主要岩石             | 特征及识别标志                         |
|------|-------|--------------------|---------------------------------|
| 原生孔隙 | 粒间孔   | 灰岩、白云质灰岩           | 孔隙形态主要与生物形态一致,其次为不规则形,孔径大小不一    |
|      | 粒内孔   | 生屑灰岩、白云质生屑灰岩       | 多呈不规则状、伸长状                      |
| 次生孔隙 | 晶间孔   | 白云岩、白云质灰岩          | 在晶粒粗大的白云石晶体间常见,孔隙边界平直,构成折线型孔隙   |
|      | 粒间溶孔  | 碎屑角砾岩、泥晶角砾岩        | 边界不规则或呈锯齿状                      |
|      | 粒内溶孔  | 生屑灰岩、白云质生屑灰岩       | 孔径大小不一,孔壁多不规则或呈港湾状,部分孔壁见残留沥青    |
|      | 残余孔   | 灰岩、白云质灰岩、白云岩及灰质白云岩 | 孔隙边部、中部的残留孔隙,长形、多边形,边缘为棱角状、不规则状 |
| 裂缝   | 构造缝   | 白云岩、灰质白云岩、灰岩及白云质灰岩 | 呈网状、根须状分布或沿层面延伸                 |
|      | 成岩缝   | 角砾岩、灰岩、白云岩         | 裂面弯曲,形状极不规则                     |
|      | 溶缝、溶沟 | 各类岩石               | 溶缝、溶沟壁不规则,宽度变化大,延伸不远或呈尖灭状       |

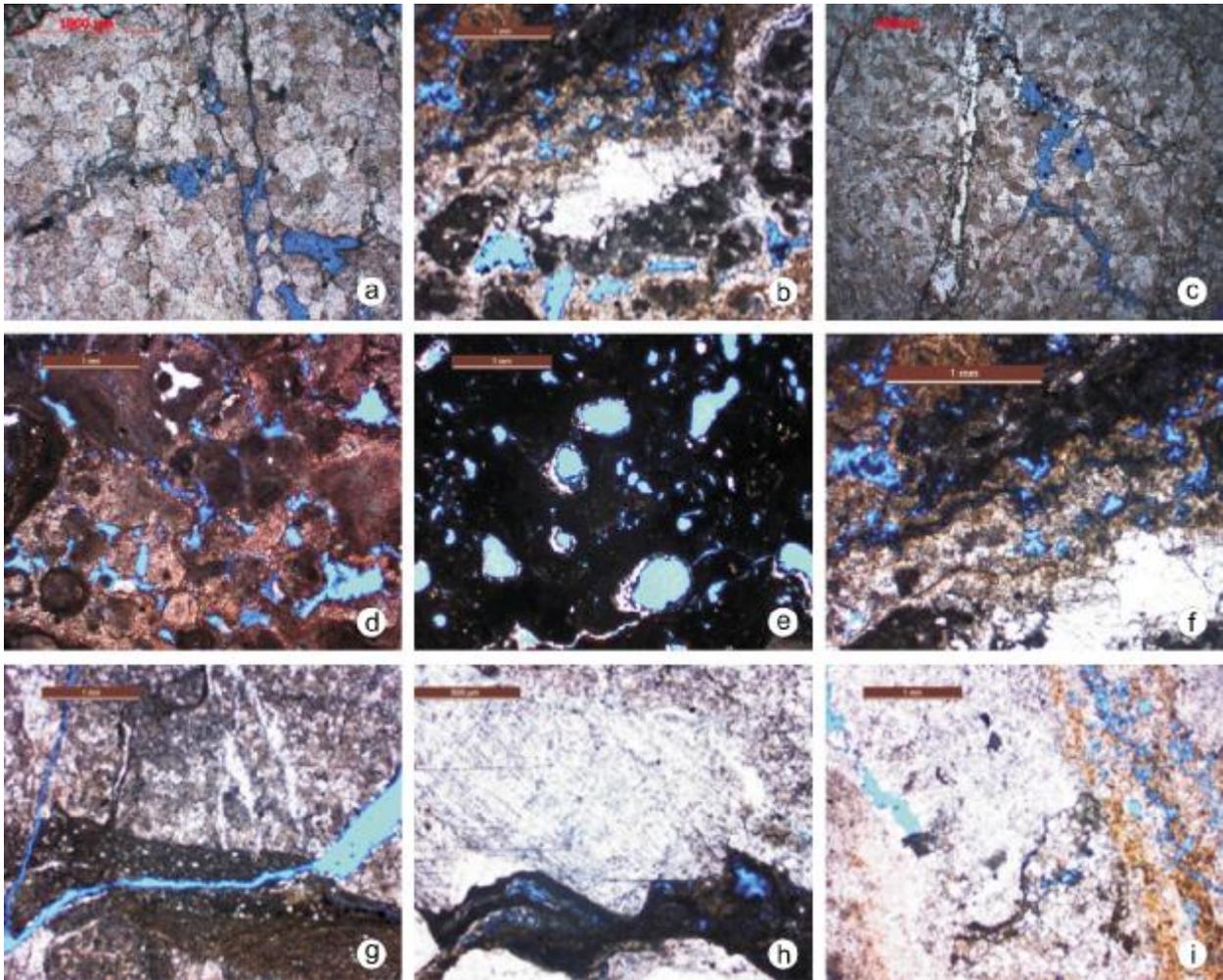


图2 Z油田下古生界碳酸盐岩储层储集空间薄片特征

Fig. 2 Thin section characteristics of Lower Paleozoic carbonate rock reservoir space in Z Oilfield

a—粒间孔, 灰岩, 孔径 0.1~1.0 mm (intergranular pore in limestone, with pore size of 0.1~1.0 mm); b—粒内孔, 生屑灰岩, 孔径 0.1~0.5 mm (intragranular pore in bioclastic limestone, with pore size of 0.1~0.5 mm); c—晶间孔, 白云岩、白云质灰岩, 孔径 0.02~0.2 mm (intercrystalline pore in dolomite/ dolomite limestone, with pore size of 0.02~0.2 mm); d—粒间溶孔, 碎屑角砾岩、泥晶角砾岩, 孔径 0.02~0.4 mm (intergranular dissolution pore in debris/micrite breccia, with pore size of 0.02~0.4 mm); e—粒内溶孔, 生屑灰岩、白云质生屑灰岩, 孔径 0.03~0.3 mm (intragranular dissolution pore in bioclastic limestone/ dolomite bioclastic limestone, with pore size of 0.03~0.3 mm); f—残余孔, 灰岩、白云岩, 孔径 0.02~0.04 mm (residual pore in limestone/dolomite, with pore size of 0.02~0.04 mm); g—构造缝, 白云岩、灰质白云岩, 缝度 0.02~0.04 mm (structural fracture in dolomite/ limy dolomite, with fracture width of 0.02~0.04 mm); h—成岩缝, 角砾岩、灰岩、白云岩, 裂面弯曲, 缝度 0.01~0.02 mm (diagenetic fracture in breccia/limestone/dolomite, with curved fracture of 0.01~0.02 mm wide); i—溶缝、溶沟, 缝度 0.5~2 mm (dissolved fracture/ dissolved groove, with fracture width of 0.5~2 mm)

作用分为建设性成岩作用(白云岩化、岩溶、溶蚀等)和破坏性成岩作用(胶结、充填、压溶等). 据近百块岩石薄片观察, 影响储集性的主要成岩作用有白云石化作用、岩溶作用、胶结作用、充填作用、溶解作用.

白云石化作用是沉积物脱离水体后经历早期成岩作用之后所发生的一种交代作用. 白云石化程度与孔隙大小和数量有密切关系, 同时, 白云石化作用使原生沉积组构遭到破坏<sup>[15-16]</sup>. 统计发现, 白云石含量 35%~

60%时, 其白云石晶间孔最为发育, 孔隙的直径也较大. 在部分白云石晶间孔隙中, 见有机质充填物, 表明这些孔隙曾经运移或储藏过碳氢化合物. 对改善岩石的储集条件起了主导作用, 白云石晶间孔、晶间隙为后期的溶解作用打下良好的基础<sup>[17-18]</sup>.

岩溶储层的发育分布受古岩溶地貌的严格控制, 不同的古岩溶地貌单元有着不同的水动力条件并控制着古岩溶的发育. 根据镜下薄片鉴定, 研究区溶蚀作

表 2 沉积环境与物性关系统计表

Table 2 Relationship between sedimentary environment and physical properties

| 岩性    | 厚度/m | 孔隙度/% | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ |
|-------|------|-------|------------------------------|
| 灰岩    | 145  | 1.5   | 160                          |
| 白云质灰岩 | 135  | 2.0   | 210                          |
| 鲕粒灰岩  | 516  | 2.2   | 168                          |
| 泥晶灰岩  | 132  | 1.8   | 230                          |
| 生屑灰岩  | 69   | 1.1   | 124                          |
| 白云岩   | 784  | 4.7   | 377                          |
| 灰质白云岩 | 157  | 2.7   | 378                          |
| 泥质白云岩 | 99   | 2.0   | 230                          |
| 泥岩    | 83   | 0.9   | 103                          |

用主要有以下识别标志: 1)胶结不整合的存在; 2)大气淡水胶结物的存在; 3)非选择性溶蚀现象形成的溶斑; 4)渗流淋滤不规则孔隙的存在. 古岩溶的淋滤和溶蚀对储层的改造固然会因为岩溶本身的沉积、充填或后期的胶结等作用而减弱, 但研究区各类溶孔得以部分保留构成主要储集空间, 说明它仍不失为研究区碳酸盐岩储层主要的有利影响因素; 其次, 白云石化有助于晶间孔的发育, 对储集条件的改善亦起了重要作用.

钻井资料表明潜山碳酸盐岩岩性自上而下明显划分为白云岩(含白云质灰岩、灰色白云岩)—致密鲕粒灰岩(含泥岩)—白云岩(含白云质灰岩、泥质灰岩). 储层划分为上油组和下油组, 已钻井揭示厚度不等, 受控于沉积、成岩、溶蚀等作用影响, 上下油组厚度差异较大, 上下油组之间被 80~150 m 厚的致密鲕粒灰岩所分隔. 上油组储层位于碳酸盐岩潜山顶面, 在新生代古近系碎屑岩地层沉积前, 古潜山碳酸盐岩地层出露地表, 长期遭受风化剥蚀、表生水淋滤、构造运动形成表层风化带, 其下受地表水的垂直渗流, 发育垂直淋滤带, 上油组发育表层风化带与垂直渗流带两个带, 孔、洞、缝非常发育. 下油组碳酸盐岩地层与底部太古宙花岗岩基底呈不整合面接触, 成岩过程中受横向沿层地层水运动影响, 发生溶蚀作用, 当碳酸盐岩地层暴露地表后, 遭受表生淋滤作用, 储层得到进一步改造, 储集空间以晶间溶孔、粒间溶孔、溶蚀缝为主, 属于潜

山内幕溶蚀型储层(图 3).

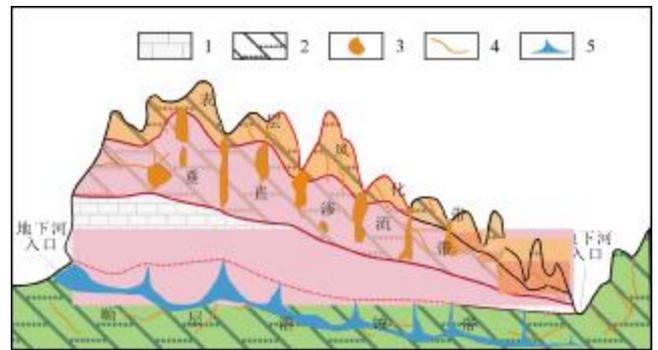


图 3 Z 油田下古生界碳酸盐岩储层垂向分带

Fig. 3 Vertical zonation of Lower Paleozoic carbonate rock reservoir in Z Oilfield

1—白云岩(dolomite); 2—灰岩(limestone); 3—溶洞(karst cave); 4—裂缝(fracture); 5—串珠状裂缝(bead-like fracture)

### 3.3 构造作用

无论是风化壳型岩溶还是埋藏溶蚀型岩溶, 其形成和发育无疑要受到构造运动的影响, 尤其是研究区存在多个不整合面, 每一次不整合作用与每一次构造运动都密切相关<sup>[19-20]</sup>. 岩心、薄片观察及钻井资料分析表明, 因受多期构造作用影响, 发育众多断裂和由断裂活动而产生的裂缝.

从区域资料和断层展布特征分析, 研究区断层复杂交错, 潜山内幕岩性为花岗岩. 受多期构造运动的影响, 潜山内幕断层较发育, 为岩浆的溢流提供了通道. 研究区在部分井区存在凝灰岩, 反映在一定的历史时期发生了火山构造作用, 导致岩浆沿断裂流动. 风化壳岩溶带主要发育在碳酸盐岩潜山顶面, 由于构造运动作用, 在漫长的地质时期内, 碳酸盐岩地层暴露地表, 长期遭受风化剥蚀、大气淡水淋滤作用, 在风化壳附近形成岩溶带, 发育大量裂缝. 据 9 口钻井 188 个岩心样品资料统计分析, 上油组裂缝厚度为 17.6~58.1 m, 合计为 279.2 m, 裂缝孔隙度比例 45%~55%; 下油组裂缝厚度为 0~45.9 m, 合计为 121.5 m, 裂缝孔隙度比例 13%. 因此, 上油组储层的裂缝较下油组发育, 说明整个碳酸盐岩沉积过程中或沉积以后, 后期的构造运动对储层的改造作用较强. 或者有可能在碳酸盐岩沉积之后, 构造运动使得地壳抬升, 顶部碳酸盐岩遭受剥蚀, 形成裂缝. 总之, 研究区碳酸盐岩储层裂缝也是受构造等多因素作用的结果.

### 4 储层地质模式及平面展布

综合利用钻测井、分析化验、岩电响应特征等资料,以“沉积模式指导,古地貌控制”的储层预测方法<sup>[21-24]</sup>,开展了古潜山储层发育规律研究. 研究目的层段储层以白云岩为主,上油组主要为裂缝型储层,下油组主要为裂缝-孔隙型储层. 上油组地层厚度在 50~445 m 之间,储层厚度在 16~136 m 之间;下油组地层厚度在 63~415 m 之间,储层厚度在 3~46 m 之间. 无论从单井储层厚度、裂缝发育厚度,还是从储层厚度与地层厚度的比值来看,上油组储层较下油组发育,分布区域较下油组范围大,而且裂缝参数上部发育,下部不发育. 碳酸盐岩地层厚度总体呈现中间薄,向南、北方向逐渐变厚的趋势,各井储层分布的位置及发育的厚度差异极大,显示出井间储层非均质性极强,将对后期的开发影响较大(图 4).

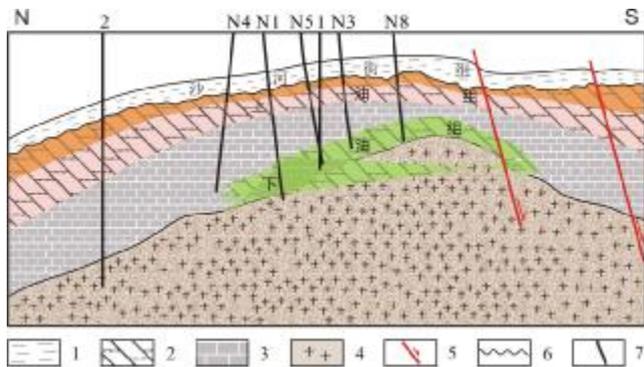


图 4 Z 油田下古生界碳酸盐岩沿 2—1—N8 方向储层发育模式图

Fig. 4 Development model of Lower Paleozoic carbonate rock reservoir along Nos. 2-1-N8 wells in Z Oilfield

1—泥岩(mudstone); 2—白云岩(dolomite); 3—灰岩(limestone); 4—花岗岩(granite); 5—断层(fault); 6—不整合面(unconformity); 7—井轨迹(well trajectory)

在整个渤海湾盆地演化背景下,结合区域构造背景及古地貌,对潜山面上下地层的组合关系进行深入研究. 结果显示:研究区分布岩溶高地、斜坡、盆地 3 个二级古地貌单元和台地、残丘、阶坪、浅洼、沟谷、残台 6 个三级古地貌单元(图 5). 古地貌形态总体略有起伏,其中西部地区为岩溶高地,中南部、中北部、东部主要发育台地,中南部和东部的台地被东南向西北延伸的沟谷分割,残丘在台地中局部分布.

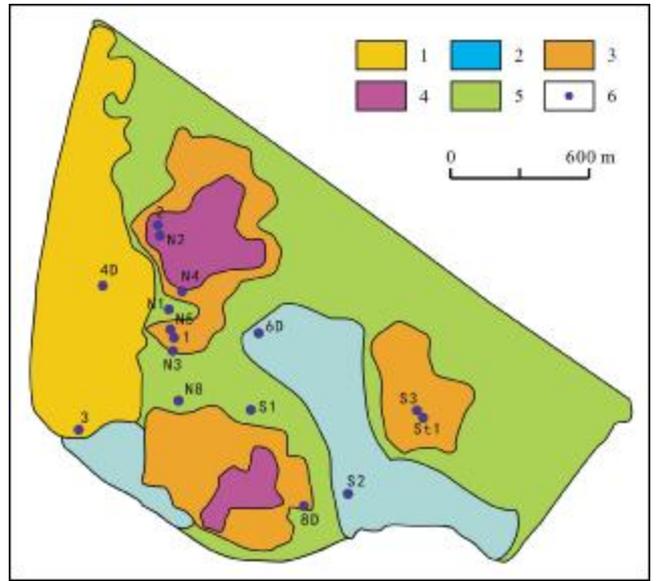


图 5 Z 油田下古生界上油组岩溶古地貌图

Fig. 5 Karst paleogeomorphology of Lower Paleozoic upper oil formation in Z Oilfield

1—岩溶高地(karst highland); 2—沟谷(valley); 3—台地(platform); 4—残丘(residual hill); 5—阶坪(terrace); 6—井位(well location)

古生界上油组储层全区发育,本文以古生界上油组为例详细阐述储层展布特点. 上油组储层南北向相对稳定分布,但受古地貌、溶蚀作用控制作用强度不同,不同井区储层厚度变化差异较大. 储层在南部和北部较发育,中间厚度较薄. 优质储层主要分布于 7 井区东南部和 2 井北部区域,该区位于岩溶斜坡(残台残丘发育区),白云岩储层发育,优质储层厚度较大;在南部 7 井储层最厚,达到 269.2 m;在北部 2 井区储层较发育,储层厚度为 192.5 m,由北向南逐步变薄,N8 井最薄,厚度 11.9 m,N8 井以南逐步变厚. N8、S1 井区位于阶坪,发育灰岩储层,优质储层较薄;6D、S2 井区位于沟谷,储层较薄,厚度在 24.2~27.6 m. N8 井—S1 井区域厚度较小. S1—7—8D 井之间,厚度变化为薄—厚—薄;西部 S3 井区储层相对发育,厚度 102.3 m;4D 井区位于岩溶高地,储层不发育. 下油组储层相对发育局限,4D 井受控于分块断层,位于岩溶高地,新生界披覆于太古宙花岗岩,储层不发育;6D 井受古地貌(沟谷)控制,优质储层不发育. 储层仅在 N3/N8 井区发育,N5、N1、N3、N8 井位于台地、残台,优质储层相对发育;N1 以北古地貌低,位于沟谷,优质储层不发育(图 6).

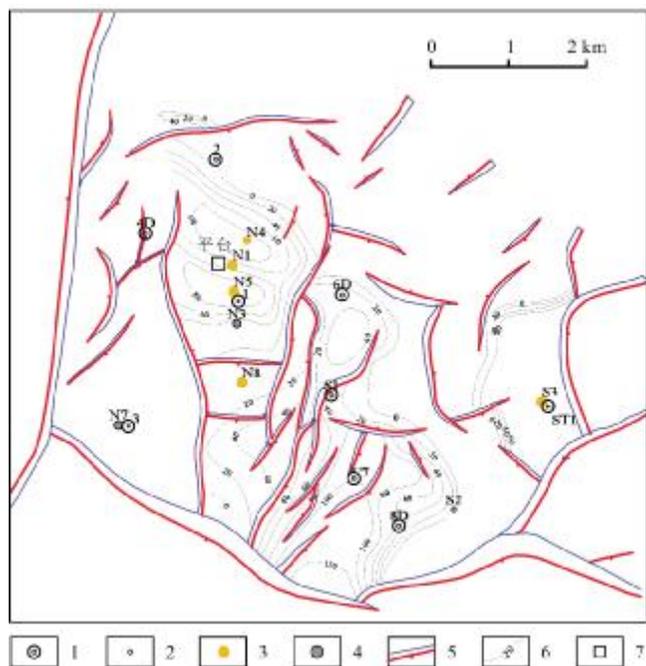


图 6 Z 油田下古生界上油组碳酸盐岩储层厚度图

Fig. 6 Thickness map of carbonate rock reservoir of Lower Paleozoic upper oil formation in Z Oilfield

1—探井(exploratory well); 2—采油井(oil production well); 3—采气井(gas production well); 4—过路井(crossing well); 5—断层(fault); 6—等厚度线(thickness contour); 7—平台(platform)

## 5 结论

(1)研究区碳酸盐岩潜山储层岩性以白云岩为主,普遍发育且分布广泛,其次为灰岩,发育比较局限。白云岩储层物性优于灰岩,以不等粒白云岩、粉—细晶白云岩和粉晶白云岩储层物性最好。储集空间类型主要为晶间孔、裂缝和溶蚀孔隙。

(2)奥陶系碳酸盐岩储层发育的主控因素主要是沉积作用、成岩作用和构造作用,对储层发育及平面展布影响控制程度不同。

(3)研究区潜山岩溶储层垂向上具有明显分带性,岩溶储层自上而下分为表层风化带、垂直渗流带及顺层溶蚀带 3 个带,中间被致密的鲕粒灰岩段(含泥岩)所分隔。

(4)Z 油田上油组储层较下油组发育,受控于古地貌、溶蚀作用、沉积控制作用影响。上油组储层全区相对较发育,优质储层主要分布于 7 井区东南部 and 2 井北部区域,不同井区厚度存在差异;下油组储层发育局限,仅在 N3/N8 井区发育。

## 参考文献(References):

- [1]赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 3 版. 北京:石油工业出版社, 2001: 20-25.  
Zhao C L, Zhu X M. Sedimentary petrology [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 20-25.(in Chinese)
- [2]孙钰,钟建华,袁向春,等. 国内湖相碳酸盐岩研究的回顾与展望[J]. 特种油气藏, 2008, 15(5): 1-6.  
Sun Y, Zhong JH, Yuan X C, et al. Review and prospect of the study on domestic lacustrine carbonate rocks[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2008, 15(5): 1-6.
- [3]张德军,赵洪伟,陈树旺,等. 阜新盆地辽阜地 2 井下白垩统岩石地层特征[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 325-332.  
Zhang D J, Zhao H W, Chen S W, et al. Lithostratigraphic characteristics of LFD-2 well in Fuxin Basin [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 325-332.
- [4]刘希瑶,王德力,刘驰. 大兴安岭北部中生代花岗岩类地球化学特征及地质意义[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 207-211, 281.  
Liu X Y, Wang D L, Liu C. Geochemistry of Mesozoic granitoids in northern Daxinganling Mountains: Geological implication [J]. Geology and Resources, 2020, 29(3): 207-211, 281.
- [5]高福亮,江洋,张国仁,等. 辽宁大连骆驼山地区第四纪溶洞形成条件分析[J]. 地质与资源, 2021, 30(4): 425-430.  
Gao F L, Jiang Y, Zhang G R, et al. Forming conditions of the Quaternary karst caves in Luotuo Mountain of Dalian City, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2021, 30(4): 425-430.
- [6]Mount J F. 浅海陆架环境中硅质碎屑和碳酸盐沉积物的混合[J]. 海洋地质译丛, 1985(2): 44-48  
Mount J F. Mixing of siliceous debris and carbonate sediments in shallow shelf environment [J]. Offshore Oil, 1985(2): 44-48.
- [7]何治亮,魏修武,钱一雄,等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 489-498.  
He Z L, Wei X C, Qian Y X, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 489-498.
- [8]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, 33(S1): 71-79.  
Zhao X Z, Wang Q, Jin F M, et al. Main controlling factors and exploration practice of subtle buried-hill hydrocarbon reservoir in Jizhong depression [J]. Acta Petroleologica Sinica, 2012, 33(S1): 71-79.
- [9]李欣,闫伟鹏,崔周旗,等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 140-144, 152.  
Li X, Yan W P, Cui Z Q, et al. Prospecting potential and targets of buried-hill oil and gas reservoirs in Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 140-144, 152.
- [10]吕丁友,侯东梅,杨庆红,等. 渤南低凸起西段构造成因机制与油气成藏规律研究[J]. 中国海上油气, 2011, 21(4): 229-233.  
Lü D Y, Hou D M, Yang Q H, et al. A study on structure origins and

- hydrocarbon accumulation pattern in the west part of Bonanlower-uplift [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2011, 21(4): 229-233.
- [11] 邓运华. 试论辽东湾拗陷沙河街组碳酸盐岩形成环境及其特征[J]. *石油勘探与开发*, 1991, 18(6): 32-39.
- Deng Y H. A discussion on the environment of formation and the characteristics of the carbonate rock in the Shahejie group in the Liaodong Bay basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1991, 18(6): 32-39.
- [12] 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅拗陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 98-107.
- Dong Y L, Zhu X M, Hua S J, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic-carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(1): 98-107.
- [13] 金振奎, 邹元荣, 张响响, 等. 黄骅拗陷古近系沙河街组湖泊碳酸盐沉积相[J]. *古地学报*, 2002, 4(3): 11-18.
- Jin Z K, Zou Y R, Zhang X X, et al. Lacustrine carbonate sedimentary facies of the Shahejie Formation of Paleogene in Huanghua depression [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2002, 4(3): 11-18.
- [14] 林会喜. 济阳拗陷桩西埕岛地区下古生界潜山储层岩溶作用[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 31(5): 490-497.
- Lin H X. Karstification of Lower Paleozoic reservoir in Zhuangxi-Chengdao area, Jiyang sag, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2004, 31(5): 490-497.
- [15] 鄢圣武, 白宪洲, 秦宇龙, 等. 四川昭觉-美姑地区峨眉山玄武岩古火山机构的发现及其喷发旋回的确定[J]. *中国地质*, 2021, 48(2): 536-548.
- Yan S W, Bai X Z, Qin Y L, et al. Discovery of Paleo-volcanic edifice and determination of its eruptive circles of Emeishan basalt in Zhaojue-Meigu area, Sichuan Province [J]. *Geology in China*, 2021, 48(2): 536-548.
- [16] 李巍巍, 陈井胜, 高忠晖, 等. 赤峰哈拉道口早石炭世花岗岩闪长岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. *地质与资源*, 2020, 29(3): 212-223.
- Li W W, Chen J S, Gao Z H, et al. Geochronology and geochemistry of the Early Carboniferous granodiorites in Haladaokou area of Chifeng City: Geological implication [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(3): 212-223.
- [17] 刘亮, 韩洪明, 杨鹏涛, 等. 四川龙门山地区阳新组灰岩地质特征及用途[J]. *地质与资源*, 2019, 28(5): 448-453.
- Liu L, Han H M, Yang P T, et al. Geology and utilization of Yangxin Formation limestone in Longmenshan area, Sichuan Province [J]. *Geology and Resources*, 2019, 28(5): 448-453.
- [18] 王慧, 张欢, 潘志龙, 等. 内蒙古北山地区哈日阿玛岛弧花岗岩地球化学、年代学特征及其地质意义[J]. *地质与资源*, 2021, 30(2): 103-117.
- Wang H, Zhang H, Pan Z L, et al. Geochemistry and geochronology of Harima island arc granitoids in Beishan area of Inner Mongolia: Geological implication [J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(2): 103-117.
- [19] 汤良杰, 万桂梅, 周心怀, 等. 渤海盆地新生代构造演化特征[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(2): 191-198.
- Tang L J, Wan G M, Zhou X H, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Bohai Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(2): 191-198.
- [20] 马宝军, 漆家福, 刘阳, 等. 渤南地区新生代构造演化与油气成藏[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(5): 572-575.
- Ma B J, Qi J F, Liu Y, et al. Cenozoic tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Bonan region [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(5): 572-575.
- [21] 马立驰, 王永诗, 姜在兴, 等. 断陷盆地碳酸盐岩潜山储层模式——以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 21-24.
- Ma L C, Wang Y S, Jiang Z X, et al. Reservoir model of carbonate buried-hill in rifted basin-taking the Jiyang depression as an example [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2006, 28(1): 21-24.
- [22] 杜韞华. 渤海湾地区下第三系湖相碳酸盐岩及沉积模式[J]. *石油与天然气地质*, 1990, 11(4): 376-392.
- Du Y H. Eocene lacustrine carbonate rocks and sedimentary model in Bohai Bay region [J]. *Oil & Gas Geology*, 1990, 11(4): 376-392.
- [23] 王拥军, 张宝民, 王政军, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(1): 51-59.
- Wang Y J, Zhang B M, Wang Z J, et al. Geological Characteristics of Ordovician Buried Hill and Main factors of oil/gas accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, China [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(1): 51-59.
- [24] 张奎华, 马立权. 济阳拗陷下古生界碳酸盐岩潜山内幕储层再研究[J]. *油气地质与采收率*, 2007, 14(4): 26-28.
- Zhang K H, Ma L Q. Restudy of tamerreservoir of buried hill of Low-Paleozoic carbonate rocks in Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(4): 26-28.