

古潜山碳酸盐岩裂缝性储层发育机制及地质建模

张立安,曹 龙,崔名喆,吴穹鹗,穆朋飞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

摘要:渤海 BZ28 油田为下古生界潜山裂缝性油气藏,各井钻遇碳酸盐岩储层厚度 0~350 m。针对油田储层展布认识不清、单井厚度差异大、生产动静态矛盾等突出问题,综合录井岩屑、岩心观察、岩石薄片、岩矿分析、非常规测井(成像测井、核磁测井)及三维地震资料,总结古潜山碳酸盐岩裂缝性储层发育机制及地质模式。结果表明:平面上,白云岩发育区带决定优质碳酸盐岩储层展布范围;垂向上,下油组地层主要为内幕溶蚀型储层,上油组地层主要为风化壳岩溶型储层。在此基础上应用 Petrel 软件建立双孔介质储层地质模型。该研究成果可为 28-1 油田及其他相似油田的开发方案调整及挖潜提供更可靠的地质基础。

关键词:碳酸盐岩;古潜山;裂缝储层;双孔介质;三维地质模型

中图分类号:TE321 **文献标志码:**A

Development mechanism and 3D geological modeling of fractured carbonate reservoirs in buried-hill

ZHANG Li'an, CAO Long, CUI Mingzhe, WU Qiongyuan, MU Pengfei

(Tianjin Branch of CNOOC(China)Co.,Ltd.,Tianjin 300459,China)

Abstract: The BZ28 Oilfield in Bohai Sea is a buried-hill fractured oil and gas reservoir in the Lower Paleozoic, where the thickness of carbonate reservoirs drilled in each well is from 0 m to 350 m. Aiming at outstanding problems such as unclear understanding of reservoir distribution in oilfields, large differences in single well thickness, and contradiction between production dynamics and statics, the development mechanism and geological model of fractured carbonate reservoirs in ancient buried hills are summarized according to comprehensive logging cuttings, core observations, rock thin sections, rock and mineral analysis, unconventional logging (imaging logging, nuclear magnetic logging) and 3D seismic data. The results show that on the plane, the dolomite development zone controls the distribution range of high-quality carbonate reservoirs; vertically upward, the lower oil group is mainly an inner dissolution reservoir, and the upper oil group is mainly a weathered crust karst reservoir. On this basis, Petrel software is used to establish a dual-porous medium reservoir geological model. The research results can provide a more reliable geological basis for the adjustment of development plans and potential tapping of the 28-1 Oilfield and other similar oilfields.

Key words: carbonate rocks; buried-hill; fractured reservoirs; double porosity media; 3D geological model

裂缝性古潜山变质岩和碳酸盐岩地层是一类重要的储集层,适合油气聚集形成特殊油气藏^[1-3]。随着国内油气勘探开发程度的不断深入,近些年来,在渤海湾盆地已发现大量潜山油气田^[4-7]。然而潜山油田具有地质年代久远、埋藏深度大、构造运动频繁、储层展布规律多样、非均质性极强、勘探风险大(单井钻探费用近亿元)等难点,严重制约着潜山油田的高效开发。前人对潜山裂缝储层做过大量研究,侧重于潜山裂缝规律和储层发育模式^[8-11],少有学者将研究成果定量刻画到三维地质模型,指导

油田开发生产实践。结合前人对古潜山变质岩及古潜山碳酸盐岩储层的研究思路,应用取心井、三维地震和测井资料,明确了碳酸盐岩储层发育的主控

收稿日期:2020-06-14;改回日期:2020-07-13。

第一作者简介:张立安(1987—),硕士,工程师,现主要从事储层综合评价和地质建模工作。E-mail:cnoc_zla@qq.com。

基金项目:“十三五”国家科技重大专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058-001);中国海洋石油有限公司综合科研项目“渤海双高油田挖潜关键技术研究”(YXKY-2018-TJ-04)。

因素和展布规律,在地质模式基础上结合生产动态资料建立古潜山裂缝双孔介质三维地质模型,为BZ28油田低效井治理及挖潜提供地质依据。

1 研究区地质概况

BZ28油田位于渤海西部海域渤南低凸起的中段,是一个受多期断层复杂化的古潜山断块油气藏(见图1),南侧和西侧发育两条大断层控制着整个构造形态,使之成为地层向北东倾没的单斜古潜山,潜山内部发育两组次级断层相互交织切割。其具有继承性的基底古凸起构造格局,多期构造运动及海平面升降控制了碳酸盐岩地层的沉积特征。地层自下而上划分为下寒武统府君山组、馒头组和毛庄组,中寒武统徐庄组和张夏组,上寒武统崮山组、长山组和凤山组,下奥陶统治里组和亮甲山组,中奥陶统下马家沟组 and 上马家沟组。研究区至少存在5期不同程度的沉积间断,研究区下寒武系地层在西部和南部处于古陆剥蚀区,无沉积;中寒武统厚度自西向东增大;上寒武统-奥陶统均有不同程度的剥蚀。实钻录井资料在府君山组、馒头组、毛庄组、亮甲山组和马家沟组碳酸盐岩均有油气显示,不同区块、不同井点和不同层段地层厚度差异明显,储层厚度变化巨大。



图1 BZ28油田区域构造位置

2 碳酸盐岩储层发育机制

根据岩心描述、壁心、钻井岩屑、岩石薄片、扫描电镜、分析化验等资料综合研究,BZ28油田岩性主要为碳酸盐岩,含少量碎屑岩和混积岩^[12]。碳酸盐岩发育有白云岩、灰岩、云灰岩和灰云岩。白云岩

以不等粒白云岩、粉晶白云岩为主,其次为细晶白云岩;灰岩以含屑(球粒、生屑、砂粒屑)泥晶灰岩为主,其次为泥晶灰岩和粉晶灰岩。薄片下,孔隙类型主要为次生孔隙,原始孔隙次之。其中,次生孔隙可见粒间溶孔、晶间溶孔、溶缝及裂缝;原生孔隙保留有粒间孔、粒内孔、晶间孔、体腔孔和鸟眼孔。

2.1 沉积是控制储层发育的物质基础

通过岩性组合、沉积构造、生物化石等综合分析,结合区域构造沉积、古地貌和古水深研究,认为BZ28油田古生界碳酸盐岩地层沉积时期地壳运动相对平静,地形相对平缓^[13-15],根据平面位置,可分为台地边缘、开阔台地和局限台地三种相(见图2)。

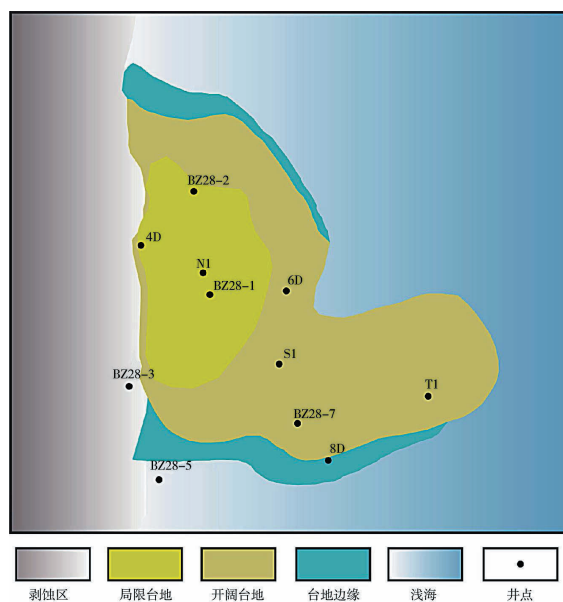


图2 BZ28油田古生界碳酸盐岩沉积相带展布

开阔台地相属于高能沉积环境,为海水相对较浅的区域,水体深度小于100 m,位于台地边缘和局限台地之间,海域比较广阔,通常不受障壁岛或生物礁遮挡,水体循环良好,盐度正常,沉积过程中水体能量强,容易形成颗粒岩。颗粒岩粒间孔隙发育,但在成岩过程中被大量胶结物充填,原生有效孔隙基本未保留下来,少见残留粒间孔。岩石薄片可见大部分颗粒岩发生过白云石化作用,但孔隙被胶结物充填,在后期成岩作用中很难受溶蚀作用改造,孔隙度很低。少部分颗粒岩在经过胶结作用充填和白云石化后,仍保留有部分原生孔隙,后期遭受构造作用和溶蚀作用的强烈改造,孔隙度大幅改善,是BZ28油田非常重要的碳酸盐岩储集层。

局限台地相属于中—低能沉积环境,位于开阔台地内侧,海水循环受到极大限制,向海方向通常可见由生物礁或浅滩所构建的断续相连状障壁岛,

盐度不正常或较高,主要发育云坪、灰云坪、泥云坪和云灰坪沉积。水体能量较低,日照蒸发能力强,利于原生灰岩发生白云石化,形成晶粒岩、颗粒晶粒岩及生物晶粒岩。晶粒岩原生孔隙相对不发育,但在后期成岩过程中经过白云石化、溶蚀溶解、构造运动等作用反复改造,有利于次生孔隙和裂缝发育,形成优质储层。

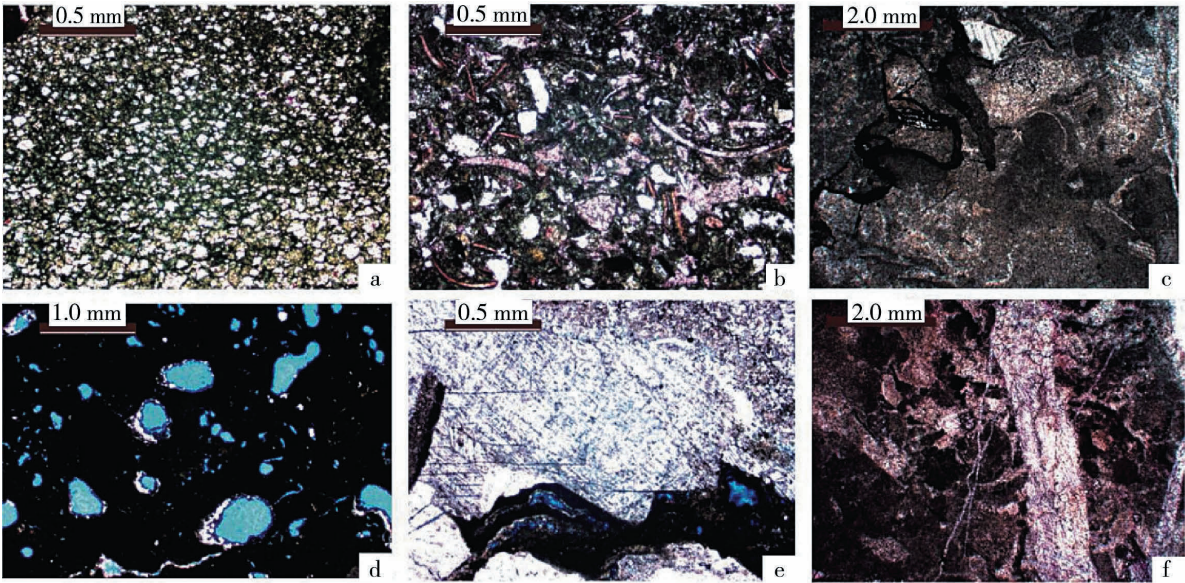
2.2 成岩是控制储层发育的重要保障

通过岩石薄片观察、成岩系列研究及岩性矿物分析,研究区古潜山碳酸盐岩储层经历成岩作用有白云石化作用、溶解作用、压实作用、胶结作用和去白云化作用。对于BZ28油田,胶结作用属于破坏性成岩作用,大量胶结物充填原始孔隙空间;压实作用损失大部分原始孔隙度,但可以产生裂缝,利于酸性流体运移形成压溶隙;对碳酸盐岩储层最关键的是白云石化作用和溶解作用,改善储层形成次生孔隙。

根据岩石薄片观察,除部分井段发育泥晶~泥粉晶白云岩外(见图3a),其余多为交代白云岩(见图3b)。据统计,当白云石含量为35%~60%时,白云石晶间孔最发育,孔隙直径也相对较大,孔径为0.01~0.05 mm,孔隙边缘呈折线状。在部分白云石晶间孔中,可见有机质充填(见图3c)、孔壁或残留沥

青。白云石化结晶作用不仅产生晶间孔和晶间微孔,且白云岩脆性最强,易形成裂缝,晶间缝隙为后期溶解作用提供先决条件。依据对研究区碳酸盐岩储层评价结果,白云岩平均孔隙度为4.52%,灰岩平均孔隙度为1.91%,灰质白云岩、泥质白云岩及白云质灰岩的平均孔隙度为2.33%。

依据沉积序列和成岩序列研究,溶解作用可分为三个阶段:早期古潜山内幕溶蚀作用阶段、中期地层埋藏溶解作用阶段和晚期地表风化岩溶作用阶段。据岩石薄片统计,BZ28油田最主要的孔隙空间为晶间溶孔和粒间溶孔(见图3d),少见粒内溶孔、溶沟和溶缝。粒间溶孔孔径0.03~0.40 mm,孔隙边缘呈不规则锯齿状;镜下晶间溶孔分布最普遍,是在晶间孔基础上溶蚀形成,孔径0.02~0.30 mm,孔隙边缘呈不规则港湾状;粒内溶孔分布较少,呈不均匀孤立状;溶沟和溶缝通常是在裂缝基础上进一步发生溶蚀形成,宽度约0.1~0.5 mm,延伸范围不远,发育不普遍。地层埋藏溶解作用阶段,部分溶孔进一步扩大,形成超大溶蚀孔。表层岩溶作用阶段,易溶物质溶解发生垮塌,形成岩溶角砾和溶洞,此类强溶蚀作用仅在局部井段可见,且多被泥质、黄铁矿或方解石充填(见图3e、3f)。



a)泥晶-泥粉晶白云岩,岩石成分主要为白云石,少量泥质,白云石可见泥晶结构和显微晶结构,显微晶白云石与少量泥质相混,集中呈条带状、团块状分布,7井,3 030.74 m; b)白云质灰岩,方解石部分隐晶结构,部分亮晶结构,隐晶方解石为原岩组分,后期发生白云石化,残余少量分布白云石晶间,亮晶方解石为白云石化后期交代产物,7井,3 312.15 m; c)粒屑细-微晶灰岩,未见有效孔缝,溶孔和裂缝后期均完全被充填,充填物主要为方解石、泥质和有机质的混合物,充填型裂缝宽约0.02~0.60 mm,8D井,3 346.15 m; d)白云质砂屑灰岩,孔隙发育,分布不均匀,孔隙类型主要为粒间溶孔,少量溶缝。孔隙形态以圆形、椭圆形、不规则形居多,孔径0.10~0.60 mm,粒间溶孔局部以点状喉连通,喉径0.005~0.010 mm,8D井,3 346.15 m; e)微晶白云岩,个别角砾的白云石被方解石交代,发生去白云石化作用,裂缝被泥质充填,黄铁矿沿裂缝富集,局部见亮晶方解石、泥质呈团块状充填交代岩石,7井,3 022.52 m; f)粒屑细-微晶灰岩,未见有效孔缝,溶孔后期被中~巨晶方解石全部充填,8D井,3 346.15 m

图3 BZ28油田古生界碳酸盐岩岩石薄片特征

2.3 构造是控制裂缝发育的关键因素

渤海湾盆地区域地质构造演化表明,研究区古潜山碳酸盐岩地层沉积后,受郯庐走滑断裂西支活动的持续影响,构造地质活动开始频繁^[16]。BZ28油田南侧和西侧存在长期活动的大断裂带,构造运动一方面严格控制古潜山的构造形态和断裂系统,在油田内部发育近南北向和近东西向两组断层相互切割,将油田划分成7个断块。另一方面,构造运动使盆地多次抬升,碳酸盐岩地层遭受长期大气风化剥蚀和雨水淋滤作用形成古潜山裂缝储层。据岩心、薄片观察和钻井资料统计,上油组储层裂缝较下油组发育,证明在古生界碳酸盐岩地层沉积以后,后期构造运动对碳酸盐岩储层的改造作用更强。

断裂系统及裂缝发育程度对储层发育情况亦起到控制作用。研究区未充填或半充填裂缝比较发育,充填物主要为钙质、硅质和泥质等碎屑,部分被方解石胶结充填,可见溶蚀孔洞沿裂缝呈串珠状发育,裂缝对储层的贡献主要表现在为油气的运移和成藏提供大量的有效储集空间,同时也是油气开采的主要渗流通道。

3 碳酸盐岩储层地质建模

3.1 储层地质模式

3.1.1 储层平面分区

由于研究区古生界地层遭受长期剥蚀而缺失严重,为了恢复研究区古地貌特征,研究中采用印模法和趋势面法相结合对古地貌进行恢复。研究区古岩溶地貌根据地形高低,划分为岩溶高地带、岩溶斜坡带和岩溶洼地带(见图4)。其中,岩溶高地呈点状呈现,分布范围小;岩溶斜坡呈连片状分布,发育范围比较宽广;岩溶洼地主要发育在研究区北部和东南部,分布范围比较局限。宽缓的岩溶斜坡带和点状岩溶高地带是白云岩石化的最有利区,局部发育石膏和硬石膏,在后期埋藏成岩过程中极易发生溶解而形成优质储层^[17-20]。新生纪时期,沉积海进体系域,海平面上升,古近系沙河街组碎屑岩地层逐渐超覆在碳酸盐岩潜山地层之上。由于潜山碳酸盐岩底部为太古界花岗岩基岩,因此碳酸盐岩地层顶、底均存在不渗透性地层,使地层水易沿裂缝和孔隙平行流动,发生顺层侵蚀。但受地层水溶蚀作用影响比较局限。

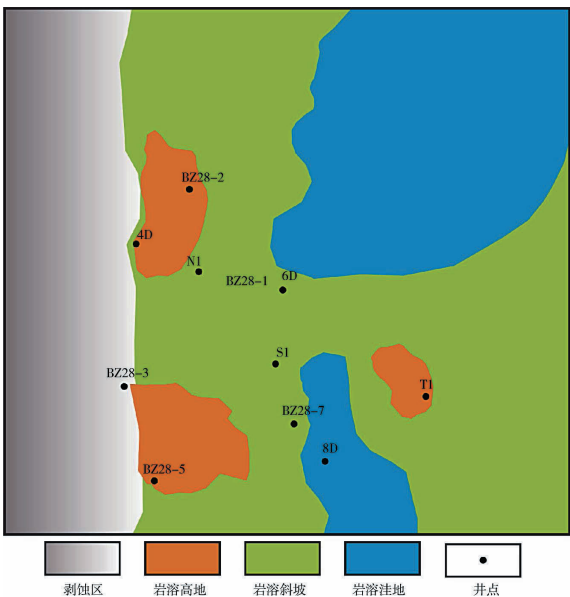


图4 BZ28油田古生界碳酸盐岩岩溶古地貌分布

3.1.2 储层垂向分带

BZ28油田碳酸盐岩储层垂向具有明显分带性(见图5),下油组发育顺层溶蚀带,中间被不稳定厚层致密灰岩段或泥岩段所分隔,上油组主要发育垂直淋滤带和风化壳带。下油组碳酸盐岩地层与底部太古界花岗岩基底呈不整合面接触,成岩过程中地层水沿层运动发生溶蚀,当寒武系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。储集空间主要为晶间溶孔、粒间溶孔、溶蚀缝等,属于潜山内幕溶蚀型储层。上油组储层位于碳酸盐岩潜山顶部,已钻井显示,主要分布在潜山顶部,厚度为0~250 m。在新生代古近系沙河街组碎屑岩地层沉积前,古潜山碳酸盐岩地层出露地表,长期遭受风化剥蚀、表生水淋滤和构造运动形成风化岩溶带,孔、洞、缝均十分发育,属于风化壳岩溶型储层。

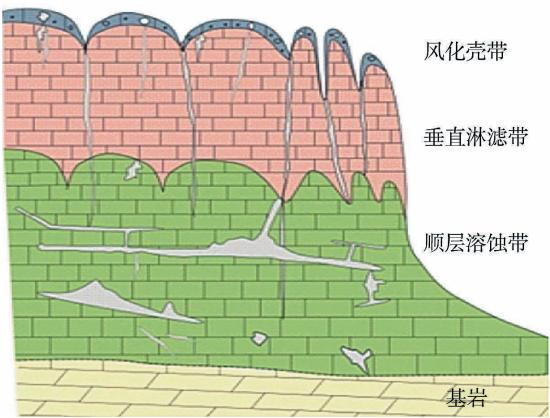


图5 BZ28油田古生界碳酸盐岩储层垂向分带

3.1.3 储层发育模式

本次研究以块状碳酸盐岩中间发育非储集灰岩和泥岩段为界,将目的层划分为下油组和上油组,上油组储层发育优于下油组。其中,上油组孔、洞、缝均十分发育,储层厚度相对稳定,分布范围较

广。优质储层呈带状分布于研究区西南部局限台地和开阔台地间,N1井区和S1井区储层最发育,是油田开发调整的优势区。8D井区和T1井区靠近台地边缘古地貌较低区域,隔夹层发育,储层物性较差(见图6)。

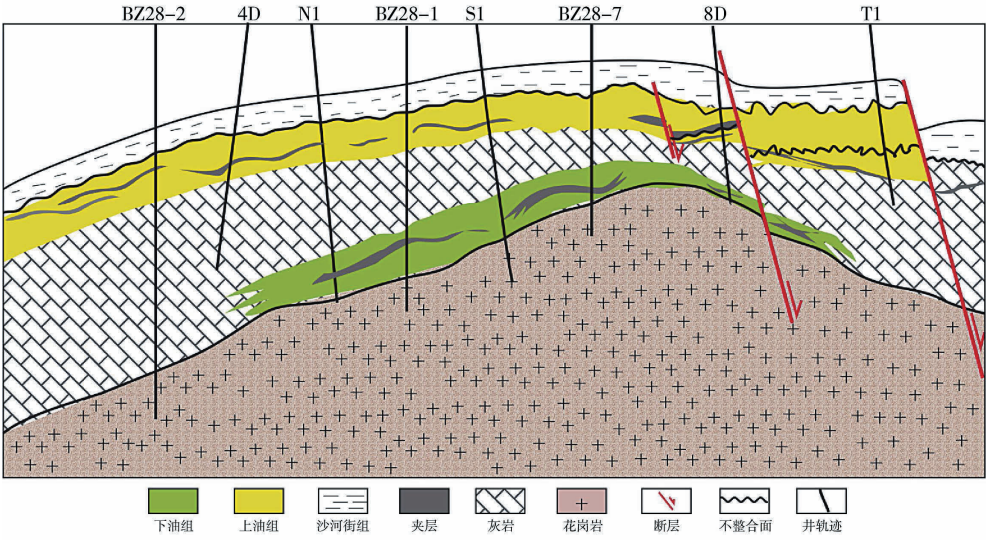


图6 BZ28油田古生界碳酸盐岩储层发育模式

3.2 地质建模

裂缝性储层地质建模应综合考虑原始孔隙的分布规律、溶解作用对溶蚀孔隙的控制作用和断裂系统对裂缝发育的控制作用等因素^[21-26],遵循成因建模法则,以垂向和平面划分的区带作为约束条件,运用Petrel软件建立双孔介质储层地质模型。

3.2.1 储层裂缝建模

前人关于渤海湾盆地区域构造研究表明,新生代时期,渤南低凸起主要遭遇拉张应力作用,断层主应力方向为北东—南西向。根据岩心井构造应力实验结果,岩石力学参数泊松比为0.28,内摩擦系数为0.54。通过已钻井岩心观察、核磁测井和成像测井等资料得知,BZ28油田沿北东和北西方向发育两组裂缝,裂缝宽度为0.05~0.25 mm。第一组裂缝倾角为15°~35°,属于低角度裂缝;第二组裂缝倾角为55°~80°,属于高角度裂缝。其中,下油组裂缝密度平均为5条/m,上油组裂缝密度平均为14条/m。储层裂缝的空间展布则需要依靠地震手段进行分析,分别提取下油组和上油组顶面沿层的平均曲率、最大曲率、最小曲率、高斯曲率等多种曲率属性,对比发现,最大曲率对缝洞系统较为敏感,与钻井吻合较好,对裂缝展布具有很好的指示意义。以钻井所获取的裂

缝参数作为硬数据,以地震资料所提取的曲率属性作为软数据,利用带趋势性的序贯指示方法插值建立裂缝概率体(见图7),结合生产动态资料对概率模型进行优选,以优选模型为约束,应用Petrel软件建立离散裂缝片三维空间分布模型(见图8)。

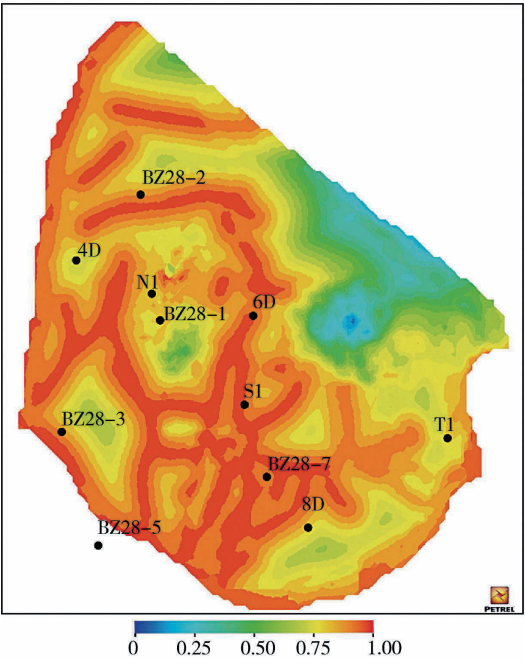


图7 古潜山碳酸盐岩裂缝发育概率



图8 古潜山碳酸盐岩裂缝片三维模型(DFN)

3.2.2 储层属性建模

裂缝性储层属性包括基质孔隙度和渗透率、裂缝孔隙度和渗透率^[27-28]。其中,基质孔隙度和渗透率建模采用常规建模方法,以古潜山碳酸盐岩沉积相作为控制条件,对井点数据用克里金插值。裂缝孔隙度可利用离散裂缝片(DFN)面积乘以裂缝平均宽度计算得到。裂缝渗透率有两种计算方法:一是利用试井解释渗透率对基质渗透率进行校正;二是利用离散裂缝片和平均裂缝宽度进行等效渗透率计算。但试井分析存在很大不确定性,因此本次研究通过对裂缝网格模型粗化,获取裂缝网络模型的sigma因子、裂缝孔隙度和 I 、 J 、 K 方向的裂缝渗透率。实际上,裂缝与基质属于统一的流体动力学单元,将裂缝网格模型耦合基质模型,从而得到潜山裂缝性储层双孔双渗地质模型,油藏数值模拟结果更加符合地质模式。根据双孔双渗模型分析油田不同开发阶段基质、裂缝的出油规律和渗流特征,结合隔夹层分布特征,解决生产矛盾,为潜山裂缝油藏不稳定注水技术研究提供地质依据,增油效果明显。油田早期研究未认识到下油组亦存在隔夹层,通过地质模型分析证实N1井与BZ28井的连通性,且之间存在隔夹层,注水井N1井新解释58 m储层并补孔,BZ28-1井增油效果明显,成功治理低效井,解决N1~BZ28-1井组动静态矛盾。

4 结论

(1)研究区平面上白云岩发育区控制优质储层

展布,在成岩阶段,白云岩易发生溶蚀形成孔隙,在构造运动时期,白云岩易产生裂缝改善储层。垂向上,下油组主要发育内幕溶蚀孔隙型储层,中间被致密层分隔,上油组主要发育风化壳岩溶型储层,上油组储层发育优于下油组。

(2)综合钻井、测井、地震资料,逐步认清古潜山碳酸盐岩裂缝储层发育模式,建立符合地下认识的储层地质模型。该研究成果成功解决了油田生产动静态矛盾和多口低效井治理问题,同时为油田潜力挖潜和增储上产提供可靠的地质依据。该项技术形成了潜山碳酸盐岩裂缝性储层发育模式研究思路和双孔介质储层地质建模方法,有助于渤海湾盆地类似油田的高效勘探开发。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈学时,易万霞,卢文忠.中国油气田古岩溶与油气储层[J].海相油气地质,2002,7(4):13-25.
- [3] MOUNT J. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments: A propose first-order textural and compositional classification[J]. Sedimentology, 1985, 32(3):435-442.
- [4] 强子同.碳酸盐岩储层地质学[M].东营:中国石油大学出版社,1998:1-23.
- [5] 房娜,姜光宏,李云鹏,等.潜山裂缝油藏开发特征及挖潜方向[J].特种油气藏,2017,24(3):90-94.
- [6] 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.
- [7] 邓运华.试论辽东湾坳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):32-38.
- [8] 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.
- [9] 吴伟涛,高先志,李理,等.渤海湾盆地大型潜山油气藏形成的有利因素[J].特种油气藏,2015,22(2):22-26.
- [10] 徐萍,郭秀文,贾洪涛.变质岩潜山油藏纵向非均质性研究[J].特种油气藏,2011,18(4):63-65.
- [11] 董艳蕾,朱筱敏,滑双君,等.黄骅坳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.
- [12] 金振奎,邹元荣,张响响,等.黄骅坳陷古近系沙河街组湖泊碳酸盐沉积相[J].古地理学报,2002,4(3):11-18.
- [13] AMOUR F, MUTTI M, CHRIST N, et al. Outcrop analog for an oolitic carbonate ramp reservoir: a scale-dependent geologic modeling approach based on

- stratigraphic hierarchy[J].AAPG Bulletin,2013,97(5): 845-871.
- [14] 赵宗举,范国章,吴兴宁,等.中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略[J].海相油气地质, 2007,12(1):1-11.
- [15] 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.
- [16] WAYNE M A.Geology of carbonate reservoirs;the identification description and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks[M]. U S A:WileyInterscience, 2008.
- [17] 赵文智,沈安江,胡素云,等.中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征[J].石油勘探与开发,2012,39(1):1-12.
- [18] 兰光志,江同文,张廷山等.碳酸盐岩古岩溶储层模式及其特征[J].天然气工业,1996,16(6):13-17.
- [19] 许效松,杜佰伟.碳酸盐岩地区古风化壳岩溶储层[J].沉积与特提斯地质,2005,25(3):1-7.
- [20] 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(Z1): 71-79.
- [21] 林会喜.济阳坳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.
- [22] 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.
- [23] 张奎华,马立权.济阳坳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.
- [24] 王伟,黄康俊,鲍征宇,等.不同类型鲕粒灰岩储集层溶解动力学特征[J].石油勘探与开发,2011,38(4): 495-502.
- [25] 范嘉松.世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素[J].地质前缘,2005,12(3):23-30.
- [26] 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.
- [27] 朱志强.利用数字岩心技术研究变质岩潜山裂缝油藏剩余油特征[J].特种油气藏,2019,26(3):148-152.
- [28] 满安静.碳酸盐岩潜山储层预测技术在Kab油田的应用[J].特种油气藏,2016,23(3):57-60.

(编辑 谢 葵)

“新工艺+新材料”双驱动助力压裂提产

江苏油田在新一轮压裂会战中,针对油田低品位、致密油藏的改造难点,创新压裂模式,通过增大改造体积、提高裂缝复杂程度、进行油水置换等方式提高改造效果。针对常规注水受效差或注不进区块,采用压驱方式提高水驱波及体积,增大剩余储量动用。技术人员将这些创新思维运用到开发老井中,先后在庄 13-17 井采用正向混合水压裂,采用高低黏液体交替注入提高裂缝复杂程度。在高 20-2 井采用前置表活剂蓄能压裂工艺,并配合焖井,达到渗析洗油的目的。

压裂施工中,为了“控本增效”,大力发展低成本压裂材料,从支撑剂和压裂液体系两方面入手,不断完善低成本压裂工艺,经过室内试验及现场应用,形成了系列低成本压裂材料。低成本石英砂应用井次达到 10 口,使用比例达到 83%,仅应用低成本滑溜水压裂液体系和石英砂支撑剂两项材料,便节省措施成本费用 72.9 万元。

为实现对压裂储层对症下药,与油藏深度结合,加强区块邻井压裂资料分析,开展“一井一策”方案优化,夯实增油基石。目前已实施的压裂井,施工成功率及有效率均创近几年最好水平,增油效果喜人。

(油科)