

锦州南油田变质岩潜山储层分类及其应用

王双龙 郑 炆 程 奇 房 娜 赵健男

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

摘 要:针对渤海湾盆地锦州南油田变质岩潜山裂缝性油藏见水规律复杂、稳油控水难度大的问题,综合运用岩心观察、薄片鉴定、常规测井、成像测井等资料,结合生产动态,从变质岩岩性、储层影响因素入手,研究四种储层类型及其见水规律。研究表明:锦州南油田发育片麻岩、混合岩、碎裂岩以及岩脉;储集空间主要为构造缝、碎裂粒间孔以及溶蚀孔等类型;Ⅰ类储层位于古地貌单元凸起区,发育网状缝,为缓慢稳定型见水;Ⅱ类储层位于古地貌平台区,发育单一缝,为波动上升型见水;Ⅲ类储层位于古地貌斜坡区,发育单一缝,为快速上升型见水;Ⅳ类储层位于古地貌凹陷区,裂缝不发育,为不含水或低含水。研究成果在锦州南油田应用取得了明显稳油控水效果,可为其他类似油田提供借鉴。

关键词:变质岩潜山;岩性特征;储层分类;油控水;锦州南油田

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2022.03.008

Reservoir type identification and application of metamorphic rock buried hill in Jinzhou South oilfield

WANG Shuanglong, ZHENG Yang, CHENG Qi, FANG Na, ZHAO Jiannan

CNOOC China Ltd., Tianjin Branch, Tianjin, 300459, China

Abstract: To solve the problems of complex water breakthrough law and great difficulty in stabilizing oil and controlling water in fractured reservoir of metamorphic rock buried hill in Jinzhou South oilfield, Bohai Bay, this paper summarized four reservoir types and water breakthrough law by comprehensively using core observation, thin section identification, conventional logging, imaging logging and other data combined with production performance from metamorphic rock lithology and reservoir influencing factors. The results show that: gneiss, migmatite, cataclasite and magmatic dikes are developed in Jinzhou South oilfield; the reservoir space is mainly composed of structural fractures, cataclastic intergranular pores and dissolution pores; Class I reservoir is located in the uplift area of paleogeomorphic unit, with network fractures developed, which has slow and stable water breakthrough type; Class II reservoir is located in the paleogeomorphic platform area, with a single fracture developed, which has a fluctuating upward water breakthrough type; Class III reservoir is located in the slope area, with a single fracture developed, which has a rapidly rising water breakthrough type; Class IV reservoir is located in sag area, with undeveloped fractures and has no or low water cut. The application of the research results in Jinzhou South oilfield has achieved obvious effect of stabilizing oil and controlling water, and it can provide reference for other oilfields of the same nature.

Keywords: Metamorphic buried hill; Lithology characteristics; Reservoir classification; Stabilizing oil and controlling water; Jinzhou South oilfield

收稿日期:2021-10-08

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”(2016ZX05058001)

作者简介:王双龙(1988-),男,陕西宝鸡人,工程师,硕士,现从事油气田开发地质研究工作。E-mail:wangshl58@sina.com

0 前言

潜山裂缝性油藏形成过程复杂^[1-3],造成其具有储集空间类型多样、断裂系统发育、非均质性强等特点,使得这类储层特征及其分布规律更加复杂。这类油藏在见水后水淹规律多样,也反映出其具有多种储层类型。储层特征及储层类型研究对于这类油藏开发中、后期注水策略的改变及剩余油挖潜甚为关键。针对这类油藏储层特征,前人主要从岩性分布、储集空间类型、裂缝期次

性、裂缝主控因素以及裂缝参数定量计算等角度开展了较为系统的研究^[4-10],但对于裂缝储层分类,尤其是基于生产动态分析下的储层类型,目前还缺少更为详细的认识。

1 岩石学特征及测井响应特征

根据研究区岩心观察和薄片鉴定的结果,锦州南油田变质岩潜山岩性为区域变质作用、混合岩化作用和动力变质作用形成的变质岩(片麻岩、混合岩、碎裂岩等),同时伴随着岩浆岩侵入形成岩脉,见表 1。

表 1 锦州南油田变质岩潜山岩石类型表

Tab.1 Rock types of metamorphic buried hill in Jinzhou South oilfield

大类	亚类	主要岩石名称	识别方法	井上钻遇比例
变质岩				
区域变质岩	片麻岩类	(黑云)二长片麻岩	岩心观察、薄片鉴定	27%
		(黑云)斜长片麻岩		7%
		角闪斜长片麻岩		5%
		黑云角闪斜长片麻岩		2%
混合岩	注入混合岩类	条带状、角砾状混合岩	岩心观察	3%
	混合片麻岩类	二长混合片麻岩	岩心观察	8%
		斜长混合片麻岩		5%
动力变质岩	碎裂岩类	碎裂岩、碎斑岩	薄片鉴定	23%
	构造角砾岩类	构造角砾岩	FMI 成像测井	10%
岩浆岩				
基性岩	—	辉绿岩	岩心观察	6%
脉岩类	—	伟晶岩	岩心观察、薄片鉴定	4%

1.1 主要岩石类型岩石学特征

锦州南油田变质岩潜山岩石学特征见图 1。

片麻岩:发育粒状变晶结构,弱片麻状构造。矿物主要由浅色矿物的石英(10% ~ 25%)、钾长石(10% ~ 65%)、斜长石(6% ~ 78%),以及暗色矿物的黑云母(5% ~ 15%)和角闪石(1% ~ 12%)组成。石英多呈它

形颗粒,晶体干净,分布在长石之间;钾长石多为具有格子双晶的微斜长石,也可见正长石和条纹长石;斜长石多呈半自形~它形粒状,发育聚片双晶,表面常见绢云母化,个别斜长石风化较强;黑云母和角闪石局部遭到蚀变,多发生绿泥石化或碳酸盐化,浅层的黑云母发生轻度溶蚀,形成溶蚀孔,见图 1-a)。



a) 片麻岩,2 井,1 750.0 ~ 1 750.6 m
a) Gneiss, well 2, 1 750.0 ~ 1 750.6 m



b) 混合岩,基体与脉体,C35 井,3 037.8 ~ 3 038.4 m
b) Migmatite, matrix and vein, well C35, 3 037.8 ~ 3 038.4 m



c) 花岗伟晶岩,A16 井,2 091.3 ~ 2 091.9 m
c) Granite pegmatite, well A16, 2 091.3 ~ 2 091.9 m



d) 正长伟晶岩,A16 井,2 034.0 ~ 2 036.4 m
d) Syenite pegmatite, well A16, 2 034.0 ~ 2 036.4 m

图 1 锦州南油田变质岩潜山岩石学特征图

Fig.1 Petrological characteristics of the metamorphic buried hill in Jinzhou South Oilfield

混合岩:根据混合岩化作用的强度及脉体的含量可分为混合岩化变质岩(混合岩化作用弱,脉体含量<15%)、注入混合岩(混合岩化作用较弱,脉体含量15%~50%)、混合片麻岩(混合岩化作用较强,脉体含量>50%)以及混合花岗岩(混合岩化作用最强,脉体含量接近100%)^[11]。研究区主要混合岩类为注入混合岩和混合片麻岩,其新生脉体主要为伟晶质脉体,矿物成分主要为长石和石英,暗色矿物含量较少,随着混合岩化作用增强,混合岩暗色矿物含量减少,见图1-b)。

动力变质岩:碎裂岩和碎斑岩为研究区主要的动力变质岩,是片麻岩和混合岩经过构造挤压破碎后形成大小不一的碎块或粉末,矿物颗粒破碎裂缝发育,镜下观察微裂缝多呈枝叉状,缝宽约0.01~0.2 mm,部分微裂缝被长英质及泥质充填,沿缝可见少量溶蚀孔。同时也

可见构造角砾岩,构造角砾岩破碎严重,岩心无法取出,主要通过成像测井资料识别。

岩浆岩脉:一类为基性岩浆岩辉绿岩,主要由斜长石(50%~60%)和辉石(40%~50%)组成,井上钻遇厚度在2.82~22.52 m;另一类为由岩浆岩后期交代形成的伟晶岩^[10],可见花岗伟晶岩和正长伟晶岩,见图1-c)和图1-d),花岗伟晶岩呈灰白色,主要由斜长石(45%)、石英(40%)及少量的正长石和黑云母组成;正长伟晶岩呈肉红色,主要由正长石(含量>90%)组成。具有块状构造、伟晶结构、文象结构,粒径约5~30 mm,井上钻遇厚度在3.52~42.59 m。

1.2 潜山岩性测井响应特征

锦州南油田变质岩潜山主要岩石测井特征见图2。

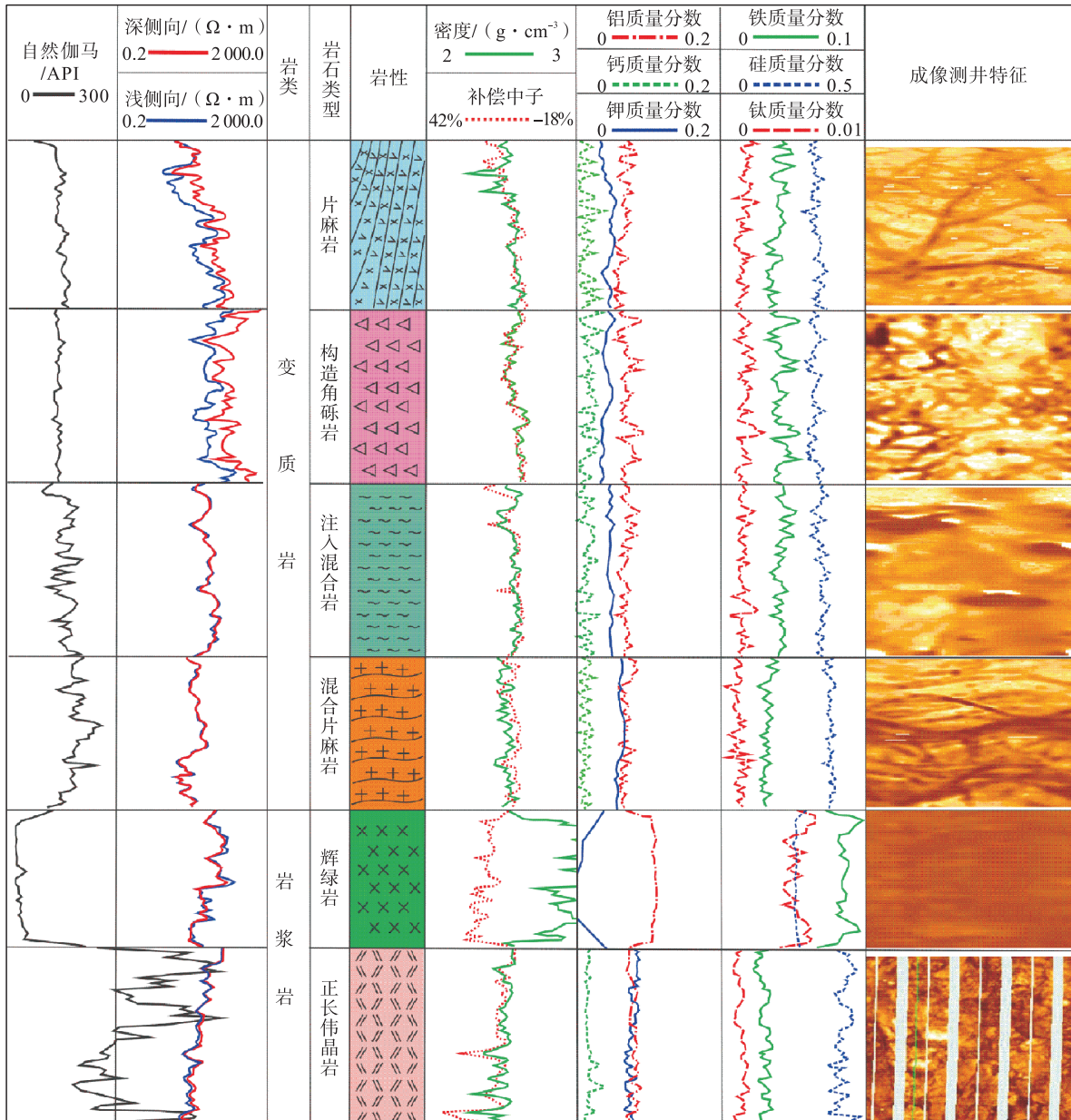


图2 锦州南油田变质岩潜山主要岩石测井特征图

Fig.2 Rock logging characteristics of the metamorphic buried hill in Jinzhou South oilfield

常规测井系列能较好区分研究区变质岩岩性^[12],但对于矿物组分及含量相似的变质岩,常规测井无法区分,如片麻岩与部分混合岩有相似的测井特征,可进一步结合 ECS 元素俘获测井和 FMI 成像测井识别共同区分。

片麻岩:自然伽马曲线呈平直状或低锯齿状,自然伽马值为 96 ~ 254 API,密度曲线和补偿中子曲线呈“绞合状”或“负相交”(“绞合状”为补偿中子曲线和密度曲线绞合在一起;“负相交”为补偿中子曲线在左,密度曲线在右;“正相交”则反之)两种形式,密度值为 1.70 ~ 2.67 g/cm³,补偿中子值为 1.9% ~ 18.0%。根据薄片数据统计,当暗色矿物含量小于 15%,密度曲线和补偿中子曲线多呈“绞合状”,暗色矿物含量小于 15%,密度曲线和补偿中子曲线多呈“负相交”,ECS 元素俘获测井总体表现为相对低硅、低铝、高铁特征,电阻率静态图上呈暗黄—黄色,可见片麻状构造,裂缝发育。

动力变质岩:测井曲线表现为电阻率曲线和密度曲线降低,补偿中子曲线升高,形成向左“凹”状,密度曲线和补偿中子曲线呈“正相交”,构造角砾岩在 GVR 电阻率静态图上特征明显,为黄—棕褐色,岩石呈破碎状,碎块大小混杂,排列紊乱。

混合岩:自然伽马曲线一般为中—低锯齿状,自然伽马值为 117 ~ 285 API,随着混合岩化作用增强,混合岩中暗色矿物含量逐渐减少,混合片麻岩密度曲线和补偿中子曲线多为偏“正相交”,密度值为 2.34 ~ 2.63 g/cm³,补偿中子值为 2.8% ~ 16.9%;注入混合岩密度曲线和补偿中子曲线多为“绞合状”,密度值为 2.41 ~ 2.64 g/cm³,补偿中子值为 1.6% ~ 18.1%。混合岩中随着伟晶质含量增多,ECS 元素俘获测井为硅、铝含量相对增加,铁含量相对减少。

岩浆岩:辉绿岩自然伽马为低值平直状,其值为 29 ~ 110 API,密度曲线和补偿中子曲线呈“负相交”,补偿中子值为 5.4% ~ 27.8%,密度值为 2.47 ~ 2.82 g/cm³;正长伟晶岩自然伽马为高锯齿状,其值为 170 ~ 603 API,密度曲线和补偿中子曲线呈“绞合状”,补偿中子值为 5.4% ~ 34.0%,密度值为 2.30 ~ 2.62 g/cm³。研究区常见两类岩浆岩常规测井特征明显,易于识别。

2 储集空间类型及其特征

锦州南油田变质岩潜山曾长期暴露于地表,遭受强烈的风化剥蚀及淡水淋滤,并经历了频繁的构造运动^[13],断裂系统发育,其储集空间主要发育构造裂缝、碎裂粒间孔隙和溶蚀孔隙等三种类型。

构造裂缝是锦州南油田变质岩潜山最主要储集空间和运移通道,根据岩心和成像测井资料分析,锦州南油田变质岩潜山裂缝主要形成于喜山运动早期(沙河街时期)北西向拉张应力场和喜山运动中晚期(东营组时期)北东向右旋走滑应力场,早期发育北北东至北东向张裂缝,中晚期再发育一组北西向和北东向剪裂缝。同时,在构造作用强烈的区域对变质岩本身进行破坏,形成碎裂岩和碎斑岩,甚至构造角砾岩,这类岩石碎裂粒间孔隙十分发育,成为油气储存和运移的良好储集空间。但由于不同岩石类型和矿物种类抗构造应力改造的程度不同,一般认为变质岩比岩浆岩裂缝发育,同一岩类暗色矿物含量越高,抗应力程度越强,裂缝越不发育^[14-15],根据锦州南油田变质岩潜山岩心和薄片资料统计分析,片麻岩裂缝最为发育,其次为混合岩,最后为伟晶岩,辉绿岩裂缝基本不发育,片麻岩中暗色矿物含量与微裂缝发育也并非成简单线性关系,薄片黑云母含量与碎裂岩和碎斑岩形成无明显关系,但角闪石含量大于 15% 时,碎裂岩和碎斑岩基本不发育。

潜山顶部的变质岩在受构造和风化淋滤双重作用下裂缝、溶蚀孔隙以及碎裂粒间孔隙也较发育,但受风化产物和上覆地层泥岩充填,导致储层物性变化较大。潜山内部溶蚀孔隙是由晶间孔隙或裂缝经风化淋滤后发育形成,主要为长石等颗粒和塑性矿物溶蚀形成孔隙。

同时变质岩在成岩演化过程中,还会经历裂缝充填作用,使裂缝成为无效储集空间,研究区主要被方解石、铁质、黄铁矿以及绿泥石等物质充填。

3 储层类型划分

3.1 储层纵向分带

童凯军、邹华耀、黄保纲等人^[5,16-17]根据风化程度将锦州南油田变质岩潜山储层纵向分为风化壳、半风化壳和基岩三部分。本文结合储集空间类型及产能情况,将锦州南油田变质岩潜山储层纵向分为风化破碎带、构造裂缝带、构造破碎带以及致密带,见图 3。

风化破碎带:上覆沉积地层与潜山基岩过渡带,以风化裂缝和溶蚀孔为主,井点统计厚度为 6 ~ 30 m,厚度与古地貌成正向关系,古地貌越高,风化破碎带越发育。储层物性差,孔隙度为 5% ~ 10%,渗透率变化较大,为 0.1 ~ 160 mD,测井上具有相对高声波时差、相对低电阻率的特点。风化破碎带产能变化较大,2 井产能为 110 m³/d,占总井产能 29%,4D 井产能为 22 m³/d,占总井产能 6%,7 井产能为 2 m³/d,占总井产能 3%,8 井测试无产能,总体而言产能较差。

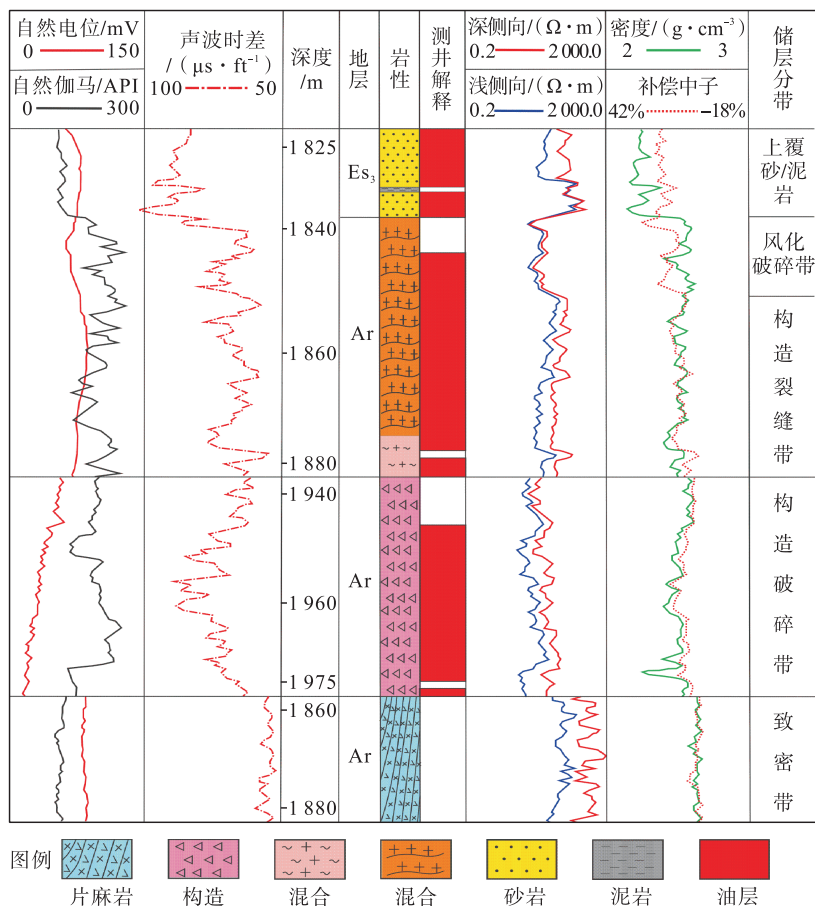


图3 锦州南油田变质岩潜山储层纵向特征图

注: 1 ft = 0.304 8 m。

Fig. 3 Vertical characteristics of metamorphic buried hill reservoir in Jinzhou South oilfield

构造裂缝带:以构造裂缝为主,井点统计构造裂缝带厚度介于30~150 m,厚度与古地貌单元成正向关系,古地貌越高,构造活动越强烈,其构造裂缝越发育。孔隙度3%~15%,渗透率变化较大,为0.1~478 mD,测井上具有相对高声波时差、相对中等电阻率的特点,裂缝在成像测井上多为暗色正弦曲线。构造裂缝带是潜山的主要生产段,其产能占整个潜山的70%以上。

构造破碎带:当构造引力更强时,局部构造裂缝带可碎裂成构造破碎带,储集空间以碎裂粒间孔隙为主,发育在大型断层附近,测井上具有高声波时差、低电阻率的特点,储层渗透率好,多口开发井在钻遇到构造破碎带都发生井漏,如 E22H 井在钻遇构造破碎带后,平均漏速达 $40 \text{ m}^3/\text{d}$,累计漏失量 $3\,400 \text{ m}^3$ 。

致密带:是潜山内部储集空间不发育的基岩带,基质岩块渗透率基本小于 1 mD,测井上具有低声波时差、高电阻率的特点,在致密带偶尔也发育薄层的裂缝段,与深大断裂有关,但根据测试可知这类裂缝一般无产能。

3.2 储层平面分类

不同裂缝性质直接影响潜山油田开发效果,单一裂缝注水,注入水容易沿着主裂缝突进,而网状裂缝注水

驱替更均匀,且古地貌也直接影响潜山注采模式,进而影响开发效果,见图4。

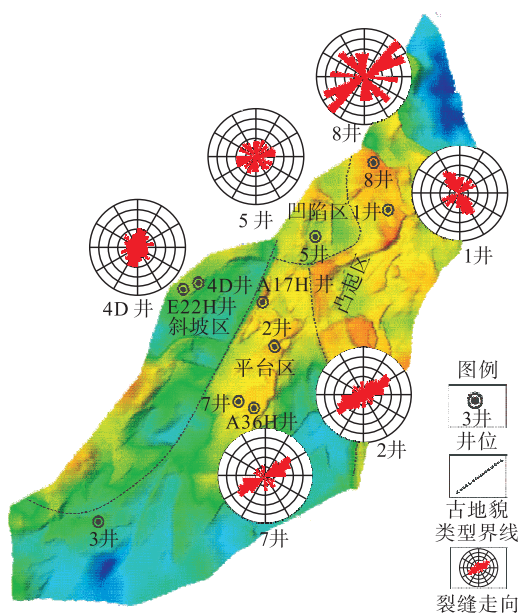


图4 锦州南油田变质岩潜山古地貌类型及裂缝走向图

Fig. 4 Paleogeomorphic types and fracture strike of metamorphic buried hill in Jinzhou South oilfield

根据储层类型、裂缝参数以及潜山古地貌特征将锦州南油田变质岩潜山储层平面分为四类,见表 2。

表 2 锦州南油田变质岩潜山储层分类及注采模式表

Tab. 2 Reservoir classification and injection production model of metamorphic buried hill in Jinzhou South oilfield

储层类型	地貌特征	裂缝期次及走向	裂缝线密度 / (条·m ⁻¹)	主要储集空间类型	见水类型
I 类储层	凸起区	北东向张裂缝,北西向和北东向剪裂缝	>6	网状缝	缓慢稳定型
II 类储层	平台区	北东向张裂缝	4~6	单一缝	波动上升型
III 类储层	斜坡区	北东向张裂缝	2~4	单一缝	快速上升型
IV 类储层	凹陷区	以风化裂缝为主,无明显规律性	<2	溶蚀孔隙、少量构造缝	不含水或含水率低

I 类储层:位于古地貌的凸起区,纵向上发育构造裂缝带和构造破碎带,储层厚度约 80~150 m,储集空间类型为北东向张裂缝以及北西向和北东向剪裂缝形成的网状构造缝,裂缝线密度大于 6 条/m。由于地貌单元高、储层厚度大,采用水平井顶、底交错的开发模式,油井和水井垂向距离为 50~120 m,平面距离大于 300 m,开发初期单井日产油大于 400 m³,无水采油期可长达 800 d,见水类型以缓慢稳定型为主。

II 类储层:位于古地貌的平台区,纵向上以构造裂缝带为主,储层厚度约 60~120 m,储集空间类型以北东向张裂缝形成的单一缝为主,裂缝线密度 4~6 条/m。由于地貌单元相对较高,平面范围大,也采用水平井顶、底交错的开发模式,油井和水井垂向距离为 50~90 m,平面距离大于 300 m,开发初期单井日产油 200~400 m³,无水采油期 300~600 d,见水类型以波动上升型为主。

III 类储层:主要位于古地貌斜坡区,纵向以构造裂缝带为主,风化破碎带和构造破碎带不发育,储层厚度约 80~100 m,裂缝线密度 2~4 条/m,以单一缝为主。由于地貌单元相对较低,且坡度下降加快,采用水平井顶部采油,侧缘注水开发模式,油井和水井垂向距离仅 50~70 m,平面距离小于 300 m,加剧了见水速度,开发初期单井日产油 100~200 m³,无水采油期短,见水类型以快速上升型为主。

IV 类储层:主要位于古地貌凹陷区,纵向储层以风化破碎带为主,储层厚度约 6~30 m,以溶蚀孔隙和少量的构造缝为主,内部裂缝不发育或者裂缝多被方解石、泥质或者黄铁矿充填。由于地貌单元低,裂缝不发育,裂缝线密度小于 2 条/m,采用定向井或水平井衰竭开发,开发初期单井日产油 <50 m³,产能递减快,内部裂缝不发育,储层与周边注水井连通性差,不含水或含水率低。

4 矿场实践

针对锦州南油田变质岩潜山四类储层及相应的见水规律,开发中、后期采用了不同的不稳定注水策略^[18-21],包括脉冲注水、周期注水、异步注采等多种注水方式,以增加各类储层水驱程度和提高采收率,实现锦州南油田变质岩潜山年增油 14×10^4 m³。

I 类储层开发中、后期注水以补充地层能量、发挥基质骨架渗吸作用为目的,采用脉冲注水策略。A17H 井投产 5 年后日产油由初期近 1 000 m³ 逐渐降至 150 m³,含水率逐渐上升至 40%,为控制含水率上升和产量下降,采用脉冲注水开发后,日产油稳定在 140 m³ 左右。

II 类储层比 I 类储层见水模式更强,注水应以提高注水波及系数和控制含水率上升为目的,采用周期注水策略。A36H 井投产 2 年后含水率迅速上升至 60% 以上,日产油降至 20 m³,采用周期注水开发后,含水率降至 10%,日增油 40 m³。

III 类储层容易沿着裂缝形成优势通道,故采用异步注采方式控制含水突破。E22H 井投产近 1 年后含水率突破至 80%,采用异步注采开发后,周期增油量 0.5×10^4 m³。

IV 类储层地貌单元最低,裂缝最不发育,以衰竭开发为主,水平井实施时井轨迹应顺着潜山面实施,增加储层钻遇率。

5 结论

1) 锦州南油田变质岩潜山储层岩性为片麻岩、混合岩、碎裂岩、辉绿岩和伟晶岩,并建立了主要岩性与常规测井、成像测井和 ECS 元素捕获测井响应关系;储集空间主要发育构造裂缝、碎裂粒间孔隙,其次为溶蚀孔隙,为孔隙—裂缝型储集空间。

2) 锦州南油田变质岩潜山储层纵向分为风化破碎

带、构造裂缝带、构造破碎带以及致密带。风化破碎带以裂缝和溶蚀孔为主,构造裂缝带以构造裂缝为主,构造破碎带以碎裂粒间孔隙为主,致密带储集空间不发育。

3) 锦州南油田变质岩潜山储层平面分为四类: I类储层主要位于凸起区,发育网状交织缝,裂缝线密度大于6条/m,见水类型为缓慢稳定型; II类储层主要位于平台区,发育单一缝,裂缝线密度大于4~6条/m,见水类型为波动上升型; III类储层主要位于斜坡区,发育单一缝,裂缝线密度2~4条/m,见水类型为快速上升型; IV类储层主要位于凹陷区,以风化裂缝和溶蚀孔隙为主,裂缝线密度小于2条/m,不含水或含水率低。

4) 结合各类储层特征和见水规律,建立锦州南油田变质岩潜山开发中、后期各类储层不同的不稳定注水策略, I类储层采用脉冲注水, II类储层周期注水, III类储层采用异步注采方式, IV类储层仍为衰竭开发,实现锦州南油田年增油 $14 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

参考文献:

- [1] 童凯军,程奇,聂玲玲,等. 变质岩潜山储集层有效性评价[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5): 780-787.
TONG Kaijun, CHENG Qi, NIE Lingling, et al. Evaluation of effectiveness of metamorphosed basement buried hill reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5): 780-787.
- [2] 侯明才,曹海洋,李慧勇,等. 渤海海域渤中19-6构造带深层潜山储层特征及其控制因素[J]. 天然气工业, 2019, 39(1): 33-44.
HOU Mingcai, CAO Haiyang, LI Huiyong, et al. Characteristics and controlling factors of deep buried-hill reservoirs in the BZ19-6 structural belt, Bohai Sea area [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(1): 33-44.
- [3] 朱毅秀,单俊峰,王欢,等. 辽河大民屯凹陷中央构造带太古宇变质岩储层特征分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(5): 1304-1315.
ZHU Yixiu, SHAN Junfeng, WANG Huan, et al. Petrological characteristics of archaean metamorphic reservoir in centra area of Damintun Depression, Liaohu [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2018, 48(5): 1304-1315.
- [4] 张在振,张尊香,彭定亮,等. 埕岛油田埕北古7潜山变质岩储层特征及影响因素[J]. 海洋石油, 2014, 34(4): 22-28.
ZHANG Zaizhen, ZHANG Zunxiang, PENG Dingliang, et al. Characteristics of metamorphic rock reservoirs and its influencing factors on Chengbeigu 7 buried hill in Chengdao Oilfield [J]. Offshore Oil, 2014, 34(4): 22-28.
- [5] 童凯军,赵春明,吕坐彬,等. 渤海变质岩潜山油藏储集层综合评价与裂缝表征[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 56-63.
TONG Kaijun, ZHAO Chunming, LYU Zuobin, et al. Reservoir evaluation and fracture characterization of the metamorphic buried hill reservoir in Bohai Bay [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(1): 56-63.
- [6] 周心怀,项华,于水,等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 17-20.
ZHOU Xinhui, XIANG Hua, YU Shui, et al. Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo-Archaean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 17-20.
- [7] 余朝华,杜业波,肖坤叶,等. 乍得Bongor盆地基岩潜山储层特征与影响因素研究[J]. 岩石学报, 2019, 35(4): 1279-1290.
YU Zhaohua, DU Yebo, XIAO Kunye, et al. Characteristics and influence factors of basement buried-hill reservoir in Bongor Basin, Chad [J]. Acta Petrologica Sinica. 2019, 35(4): 1279-1290.
- [8] 周杰,杨希冰,杨金海,等. 琼东南盆地深水区中生界潜山裂缝发育特征及形成机理——以松南低凸起Y8区为例[J]. 中国海上油气, 2020, 32(3): 1-9.
ZHOU Jie, YANG Xibing, YANG Jinhai, et al. Development characteristics and formation mechanism of Mesozoic buried hill fractures in the deep water area of Qiongdongnan basin: Taking Y8 area in Songnan low uplift as an example [J]. China Offshore Oil and Gas. 2020, 32(3): 1-9.
- [9] 陈心路,韦阿娟,王粤川,等. 渤海海域西南部太古宙变质岩岩性对裂缝的控制作用[J]. 地质科技情报, 2018, 37(2): 165-173.
CHEN Xinlu, WEI Ajuan, WANG Yuechuan, et al. Controlling effect of archaean metamorphic rocks on fractures in Southwest Bohai Sea [J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(2): 165-173.
- [10] 王昕,周心怀,徐国胜,等. 渤海海域蓬莱9-1花岗岩潜山大型油气田储层发育特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(2): 262-270.
WANG Xin, ZHOU Xinhui, XU Guosheng, et al. Characteristics and controlling factors of reservoirs in Penglai 9-1 large-scale oilfield in buried granite hills, Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 262-270.
- [11] 唐洪明. 矿物岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2011.
TANG Hongming. Mineral petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.

- [12] 付崇清. 辽河油田变质岩潜山测井综合评价[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(5): 138-142.
- FU Chongqing. Comprehensive logging evaluation to metamorphic buried hill in Liaohe oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(5): 138-142.
- [13] 卢欢, 牛成民, 李慧勇, 等. 变质岩潜山油藏储层特征及评价[J]. 断块油气田, 2020, 27(1): 28-33.
- LU Huan, NIU Chengmin, LI Huiyong, et al. Reservoir feature and evaluation of metamorphic buried-hill reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(1): 28-33.
- [14] 任芳祥, 龚姚进, 张吉昌, 等. 潜山内幕油藏裂缝发育段地震响应特征研究[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 565-573.
- REN Fangxiang, GONG Yaojin, ZHANG Jichang, et al. Research on seismic response characteristics of fracture developed section of reservoirs inside the buried hill [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(4): 565-573.
- [15] 孟卫工, 陈振岩, 李湃, 等. 潜山油气藏勘探理论与实践——以辽河坳陷为例[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 136-143.
- MENG Weigong, CHEN Zhenyan, LI Pai, et al. Exploration theories and practices of buried-hill reservoirs: A case from Liaohe Depressions [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 136-143.
- [16] 邹华耀, 赵春明, 尹志军. 辽东湾 JZS 潜山变质岩风化壳识别及储集特征[J]. 天然气地质科学, 2015, 26(4): 599-607.
- ZOU Huayao, ZHAO Chunming, YIN Zhijun. Development and distribution of the metamorphic-weathering crust and its feature of reservoir-property for the JZS buried hill, Liaodongwan area [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(4): 599-607.
- [17] 黄保纲, 汪利兵, 赵春明, 等. JZS 油田潜山裂缝储层形成机制及分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 710-717.
- HUANG Baogang, WANG Libing, ZHAO Chunming, et al. Formation mechanism and distribution of fractured buried hill reservoir in JZS oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 710-717.
- [18] 房娜, 姜光宏, 程奇, 等. 裂缝性油藏不同见水模式下的注水优化[J]. 断块油气藏, 2020, 27(5): 633-637.
- FANG Na, JIANG Guanghong, CHENG Qi, et al. Optimization of water injection in fractured reservoir under different water breakthrough modes [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(5): 633-637.
- [19] 苏彦春, 朱志强. 裂缝性潜山油藏渗流特征及不稳定注水策略——以渤海锦州 25-1 南油田潜山油藏为例[J]. 中国海上油气, 2019, 31(6): 78-85.
- SU Yanchun, ZHU Zhiqiang. Percolation characteristics and unstable water injection strategy of fractured buried hill reservoirs: Taking the buried reservoir in Bohai JZ25-1 S oilfield as an example [J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(6): 78-85.
- [20] 孟智强, 凌浩川, 朱志强, 等. 裂缝性油藏吸入毛管压力曲线研究及应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019, 34(6): 60-65.
- MENG Zhiqiang, LING Haochuan, ZHU Zhiqiang, et al. Research and application of sucking capillary pressure curve of fractured reservoir [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2019, 34(6): 60-65.
- [21] 罗宪波, 李云鹏, 葛丽珍, 等. 变质岩潜山裂缝油藏高效开发技术研究与实践[J]. 中国海上油气, 2016, 28(3): 91-96.
- LUO Xianbo, LI Yunpeng, GE Lizhen, et al. Research and practice of efficient development technology of metamorphic buried hill fracture reservoir [J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(3): 91-96.