邓永辉, 戴建文, 王华, 等. 惠州油田火成岩潜山裂缝特征及主控因素 [J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(1): 11-19. DENG Yonghui, DAI Jianwen, WANG Hua, et al. Characteristics and major controlling factors of the fractures in igneous buried hill reservoirs in Huizhou Oilfield[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(1): 11-19.

惠州油田火成岩潜山裂缝特征及主控因素

邓永辉,戴建文,王华,衡立群,杨娇,蔡俊杰 (中海石油(中国)有限公司深圳分公司,深圳 518054)

摘 要:为明确惠州油田火成岩潜山油藏储层品质及开发潜力,运用岩芯、薄片、成像测井等 资料对研究区潜山储层天然裂缝特征、发育主控因素进行了研究。结果表明,惠州油田潜山 储层发育 NW、NE 及 EW 向 3 组优势裂缝体系,以 NW 向裂缝体系为主,裂缝倾角 49°~60°, 主要为中-高角度裂缝。识别出构造缝、溶蚀缝及成岩缝 3 类裂缝,构造缝是主要的裂缝类型, 溶蚀缝次之,成岩缝为孤立缝,对储层物性贡献意义不大。构造作用是裂缝发育的主控因素, 岩性、断层及流体作用为次要因素,多期次的构造运动是潜山岩石破裂成缝的力学基础,花岗 岩及闪长岩是裂缝发育的优势岩类,边界大断层控制下的裂缝发育范围约 150 m,潜山内部次 级断层控制下的裂缝发育范围约 80 m。采用多元信息概率融合方法预测了潜山风化带裂缝 优势发育区,划分出 4 类裂缝发育优势区。研究成果对惠州油田潜山油气藏储层评价及开发 方案研究具有参考意义。

关键词:惠州油田;火成岩潜山;裂缝特征;主控因素;多信息概率融合 中图分类号:P744.4;P618.13 文献标识码:A **DOI**:10.16028/j.1009-2722.2023.054

0 引言

随着珠江口盆地惠州油田深层中生界火成岩 潜山油气藏的发现,开启了南海东部海域以古近系、 古潜山为目标的深层"双古"油气藏勘探新方向^[14]。 火成岩潜山储集空间较沉积岩更为复杂,原生孔隙 发育较差,天然裂缝及与其伴生的溶蚀孔洞是主要 的油气储集空间和渗流通道^[5-8]。明确裂缝发育特 征及空间分布是火成岩潜山油气藏开发方案研究 的基础。

惠州油田火成岩潜山发育喷出岩、侵入岩及变 质岩等多种岩性,经历了多期次构造运动及风化溶 蚀作用的改造,不同岩性的成缝能力差异大,导致 裂缝空间分布随机性极强。潜山不同部位的裂缝 受到多种地质因素共同控制,不同位置的裂缝主控

收稿日期: 2023-03-08

资助项目:中国海洋石油集团有限公司"十四五"重大科技项目"海上低 渗透及潜山油气田有效开发技术"(KJGG2022-0702)

第一作者:邓永辉(1987-),男,硕士,工程师,主要从事储层地质方面的 研究工作. E-mail: 313474435@qq.com 因素不同,导致对裂缝发育优势区预测难度极大。 截至目前,未开展过针对惠州油田潜山裂缝特征及 发育优势区的系统研究,对裂缝发育主控因素及优 势发育区认识不清,制约了油气藏开发方案的编制。 为明确惠州油田潜山储层裂缝发育特征、地质主控 因素及裂缝发育优势区带,指导油田有效开发,利 用岩芯、薄片及成像测井等资料,首次系统分析了 惠州油田潜山纵向不同层段、平面不同部位的裂缝 发育特征及成因类型,明确了潜山裂缝发育的主控 因素。通过统计分析地质主控因素与裂缝密度的 关系,定量表征了不同主控因素控制下的裂缝发育 概率,基于多主控因素定量表征信息融合方法,预 测了潜山风化带裂缝优势发育区,以期为油田开发 方案的制定提供地质依据。

1 地质概况

珠江口盆地位于中国南海北部,整体上呈 NE-SW 向展布,是华南陆缘伸展张裂过程中形成的被 动大陆边缘新生代沉积盆地。盆地构造自北向南 分为"三隆两坳",即北部断阶带、北部坳陷带、中 央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带^[9]。惠州凹陷 位于北部坳陷带的珠一坳陷。平面上,依据基底断 裂和古近系沉积厚度分布,可进一步将惠州凹陷划 分为惠州 08 洼、惠州 13 洼、惠州 26 洼、西江 30 洼和西江 24 洼等 11 个洼陷,基底受到强烈的构造 变形作用,岩浆活动强烈,从而形成岩性复杂的基 底中生代潜山^[10-12](图 1)。

据地震及钻井资料揭示,惠州凹陷基岩上覆地 层自下而上为古近系文昌组、恩平组、珠海组和新 近系珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四系。 其中,凹陷中心发育的文昌组、恩平组湖相烃源岩 是惠州油田主要的油源。





惠州油田位于惠州凹陷西南部的惠州 26 洼南 缘断裂带,是由 2 条 NWW 向边界正断层夹持形成 的断块构造圈闭(图 2)。惠州油田中生代潜山岩性 包括侵入岩、火山喷发岩及变质岩,储集层具双重 孔隙介质特征。根据被风化溶蚀改造程度差异,将 潜山纵向上分为风化带及内幕带。风化带经过强 烈的风化淋滤改造,裂缝和溶蚀孔、洞发育,以孔隙-



图 2 惠州油田潜山油气藏剖面图 Fig.2 Reservoir profile of the Huizhou Oilfield

裂缝型储层为主。内幕带被风化溶蚀作用改造较弱,主要发育裂缝型储层。油藏类型为"上气下油"的块状气顶油藏,上部为高含凝析油的凝析气顶,下部为轻质挥发油藏(图 2)。

2 潜山储层裂缝特征

2.1 裂缝成因类型

综合分析研究区 3 口井 14.7 m的钻井取芯、 74 颗井壁取芯、52 块薄片及 2 口井约 50 m 的成像 测井资料,识别出 1105 条有效裂缝。研究结果表 明,惠州油田潜山主要发育构造缝、溶蚀缝及成岩 缝 3 类天然裂缝,平面不同部位、纵向不同层段裂 缝发育类型及密度不同。

2.1.1 构造缝

构造缝具有明显的方向性,多成组出现产状相 似的裂缝(图 3a)。岩芯及薄片资料显示,研究区大 部分构造缝都有被矿物充填的现象,充填矿物成分



(a)花岗岩中的正交裂缝;(b)构造缝中的填隙物被溶蚀;(c)花岗岩中的溶蚀孔洞;(d)岩芯荧光照片,多期次裂缝相互切割、限制;
 (e)早期充填缝被再次破裂,并被溶蚀;(f)溶蚀孔隙随裂缝发育;(g)成岩缝;(h)构造缝地质模式;(i)溶蚀缝地质模式;(j)成岩缝地质模式
 图 3 惠州油田潜山储层裂缝典型岩芯、薄片特征及地质模式

Fig.3 Photos and thin section characteristics of fractures in typical cores of the buried hill reservoir in Huizhou Oilfield

以长石、方解石为主,部分裂缝中见到石英充填 (图 3b-e)。受多期次构造运动影响,裂缝呈现出 明显的多期次性,岩芯上表现为裂缝相互切割或者 限制(图 3d),成像测井图识别出的主要是未被填充 的构造缝,其特征为完整的正弦或者余弦曲线形态 (图 3h)。构造缝在研究区广泛发育,平面上断层附 近及高部位构造曲率大的区域是构造缝主要发育 区,纵向上风化带与内幕带构造缝发育程度差异不 大,但整体上风化带更为发育。

2.1.2 溶蚀缝

研究区溶蚀缝根据成因的不同可分为2类:一 类是未被充填的构造缝,表面的长石、云母等易溶 矿物在地层热液的作用下发生溶蚀,使构造缝进一 步加宽,这一类溶蚀缝在成像测井动态图中表现为 裂缝面局部不规则加大、变宽的低电阻团块;另一 类是构造缝中充填的长石、方解石等矿物被非均匀 溶蚀,使原本失去渗流能力的构造缝重新被打开, 成为有效裂缝,这类溶蚀缝在成像测井上表现为不 光滑的正弦或余弦曲线特征,裂缝开度分布不均匀, 呈现出串珠状特征(图 2b、f、i)。溶蚀缝主要在风 化带发育,风化带构造高部位发育最好,随着深度 增加,溶蚀作用逐渐减弱,内幕带溶蚀缝发育较少, 仅见少量裂缝具有被溶蚀的特征。

2.1.3 成岩缝

成岩缝包括熔岩降温过程中不同矿物因冷凝 温度差异导致的非均匀收缩形成的裂缝,以及后期 侵入岩体中的流体混入造成冷凝收缩形成的裂 缝^[13,14]。这类裂缝主要特征是横向规模有限,长度 一般<5 cm,每条裂缝基本孤立存在,互不连通,对 储层渗流贡献意义不大(图 2g、j)。成岩缝在潜山 中广泛发育,其空间分布主要受岩性控制,无明显 统计规律。

2.2 裂缝产状、密度及开度

基于研究区 3 口井 14.7 m 的钻井取芯及 2 口 井约 50 m 的电阻率成像测井资料,统计了潜山构 造高部位、斜坡部位及风化带、内幕带的裂缝参数。 研究结果表明,惠州油田潜山不同部位裂缝产状、 密度及开度具有明显的差异性。成岩缝形态比较 单一,主要为纺锤状或者眼状等不规则形态,没有 明显的方向性。溶蚀缝是在构造缝基础上形成的, 其产状与构造缝基本一致。

受断层分布影响,研究区裂缝走向较为杂乱, 但整体上可以划分出 NW、NE 及 EW 向 3 组裂缝 体系,以 NW 向裂缝为主,其方向与现今主地应力 方向基本一致。平面上,潜山南部构造高部位主要 发育倾角>45°的中一高角度缝,边部构造陡峭区域 裂缝倾角相对高部位构造平缓区较小,以倾角<45° 的中等角度缝为主。垂向上,构造缝走向没有明显 的分带性,但倾角大小差异明显,风化带裂缝倾角 分布范围更广,低、中、高角度缝都有发育,裂缝倾 角分布为 10°~90°,平均为 49.5°;内幕带则主要发 育倾角>45°的中一高角度裂缝,裂缝倾角分布范 围 20°~90°,平均达到 60°(图 4)。

综合统计岩芯及成像测井资料表明,研究区潜山储层裂缝线密度约 2~9条/m,断层附近及构造高部位裂缝发育密度较大,远离断层区域及构造低部位裂缝密度较小。纵向上,风化带裂缝密度平均4.1条/m,内幕带裂缝密度略小于风化带,平均约3.6条/m。

研究区裂缝开度整体较小,成像测井解释裂缝 开度分布于 20~900 µm,平均缝宽约 50 µm,开度 >100 μm 的裂缝主要为溶蚀缝。纵向上,风化带裂 缝受溶蚀作用改造影响,平均缝宽为 62.9 μm,内幕 带平均缝宽为 47.8 μm。横向上,风化带构造低部 位裂缝充填程度较高,裂缝开度整体小于高部位, 内幕带不同部位裂缝开度则差异相对较小(图 4)。

3 裂缝发育主控因素

通过岩芯、薄片资料定性分析,并结合成像测 井解释成果定量统计表明,惠州油田潜山裂缝的发 育受构造作用、岩性、断层及流体作用共同影响。 多期次的区域构造运动是潜山岩石破裂成缝的动 力学基础,是研究区潜山裂缝发育的主要控制因 素^[15-19]。不同岩性物理性质的差异决定了其破裂 成缝的难易程度,是控制裂缝发育的次要因素。断 层规模及距离控制了局部裂缝发育程度。溶蚀作 用对裂缝现今开度的大小具有重要控制作用。

3.1 区域构造运动对裂缝形成的影响

研究区所在的惠州凹陷自中生界以来经历了 5期构造运动,形成了 NE、NW 及 EW 向 3 组断裂 体系。通过地震极大似然体沿层切片技术,刻画了 潜山裂缝的平面展布特征,结果表明,惠州油田潜 山发育的 3 组裂缝体系与 3 组断裂体系走向基本 一致(图 5)。

中生代燕山期,惠州凹陷处于俯冲陆缘弧的挤 压环境,广泛发育 NE 与 NW 向先存断裂,这些压 性断裂体系为潜山储层网状裂缝的形成奠定了重 要基础^[20-22]。早、晚白垩世之交,惠州凹陷发生快 速隆升,基底内发育 NWW-NW 向逆冲断裂体系, 与之伴生形成 NW 向裂缝体系。晚白垩世早期,惠 州凹陷处于弧后地区伸展环境,主要发育 NEE 向 伸展断裂体系,是研究区 EW 向裂缝体系形成的主 要时期。晚白垩世晚期,凹陷受到 SE 和 NW 方向 的挤压隆升,形成了 NEE 向逆冲构造体系,为 NE 向裂缝体系的形成提供了动力基础。新生代时期, 整个珠江口盆地经历了多幕裂陷作用及南海扩张 运动,使早期的 3 组断裂体系持续活化,并对已有 裂缝体系进行改造,是决定潜山最终裂缝发育程度 的关键时期。

3.2 岩石类型对裂缝形成的影响

岩石中石英、长石等脆性矿物含量越高,脆性

图 5 惠州油田潜山裂缝体系分布模式

Fig.5 Fracture distribution pattern of buried hill reservoir in the Huizhou Oilfield

越好,越易于形成裂缝,而黑云母、角闪石等矿物含 量越高,岩石塑性越好,越不利于裂缝形成^[23-26]。 惠州油田潜山发育花岗岩、闪长岩、构造片岩及玄 武岩4类岩石,为了明确岩性与裂缝发育的关系, 基于研究区 3 口井成像测井及岩石薄片鉴定资料, 统计了4类岩石主要矿物含量及裂缝发育密度(表1)。 结果表明,花岗岩、闪长岩中的长石、石英含量较高, 脆性好,其裂缝密度明显大于中基性喷出岩。研究 区4种主要类型岩石的裂缝发育程度从高到低依 次为花岗岩、闪长岩、构造片岩和玄武岩,其中,花 岗岩裂缝发育密度最大,是最有利于形成裂缝的岩 石类型,平均裂缝密度约 4.8 条/m;闪长岩裂缝发育 程度中等,是次一级的有利于成缝的岩性;构造片 岩长英质含量相对低,而角闪石等暗色矿物含量相 对高,岩石脆性比侵入岩差,平均裂缝发育密度约 1.7条/m。玄武岩属于基性火山岩,石英含量相对 低,且主要分布于潜山内幕带深部,裂缝发育密度 相对低,平均仅约0.8条/m。

3.3 断层距离对裂缝形成的影响

惠州油田潜山油气藏发育3条边界断层及 2条油藏内部的次级断层。统计分析潜山内钻遇断 层的各井裂缝密度及其与断层距离,结果表明,裂

表1 不同类型岩石平均裂缝密度与主要矿物)含量
----------------------	-----

 Table 1
 Average fracture density and main mineral content of different types of rocks

岩石类型 -	主要矿物体积含量/%			刘逸亚均家庄((夕山)
	石英	长石	角闪石	裂理半均密度/(余/m)
花岗岩	25	62	2	4.9
闪长岩	9	29	28	4.6
构造片岩	7	16	47	1.7
玄武岩	7	12	49	0.6

缝发育密度与距断层的距离具有明显的负相关性。 即在距断层面一定距离范围内,越靠近断层面,构 造缝发育密度越大,反之则裂缝密度逐渐减小,超 过这一距离范围,裂缝发育密度则不再随着距断层 距离的增加而变化。同时,不同规模的断层对裂缝 发育范围控制程度不同。潜山南部的控圈大断裂 对断面 150 m 范围内的裂缝发育程度具有明显控 制作用(图 6a),而油藏内部次级断层对裂缝发育的 影响范围约为距断面 80 m(图 6b)。惠州油田潜山 发育的主控因素,尤其是以构造缝为主的潜山内幕 带,其裂缝的发育程度完全受断层控制。多期次构 造运动引起断层持续活动,既能不断形成新的裂缝, 也使早期被充填的裂缝再次破裂开启^[27-29]。

3.4 流体作用对裂缝形成的影响

古潜山在形成演化过程中普遍发生风化淋滤, 而溶蚀作用与古地貌特征密切相关,古地貌的高低 直接影响淋滤溶蚀作用的强度^[30-31]。统计惠州油 田潜山平面不同位置、纵向不同深度成像测井识别 的溶蚀缝密度数据表明,相对古地貌高度与溶蚀缝 密度具有正相关关系,相对古地貌高部位溶蚀缝发 育程度明显好于低部位,相对古地貌高部位几乎所 有裂缝都有不同程度的溶蚀现象,溶蚀缝密度最大可达 6 条/m,平均溶蚀缝密度约 4 条/m,而构造低部位溶蚀缝发育密度仅约 1.5 条/m。纵向上溶蚀作用主要在风化带发育,内幕带埋深较大,流体无法进入,基本不发育溶蚀缝(图 7)。

4 裂缝发育优势区预测

前述研究表明,惠州油田潜山裂缝发育密度与

Fig.7 Relationship between the relative height of ancient relief and the density of dissolution fractures

距断层距离、相对古地貌高度及岩石类型具有较好的相关性。据此,采用多元线性回归方法得到不同 类型岩石的裂缝发育密度与断层距离、相对古地貌 高度的关系式,并运用地质模型计算得到单一地质 因素控制下的裂缝发育概率体。在此基础上,采用 多元信息概率融合方法(公式1)将单一信息控制的 裂缝发育条件概率体融合为综合裂缝发育概率^[32], 从而预测潜山风化带不同部位裂缝发育概率。

$$P\{C|K,S\} = \frac{\frac{1 - P\{C\}}{P\{C\}}}{\frac{1 - P\{C\}}{P\{C\}} + \frac{1 - P\{C|K\}}{P\{C|K\}} \cdot \frac{1 - P\{C|S\}}{P\{C|S\}}}$$
(1)

P{C}为裂缝发育先验概率,本区取值 0.25;

P{*C*|*K*}为断层控制下的裂缝发育概率; *P*{*C*|*S*}为古地貌控制下的裂缝发育概率。

I {CB} 为自地就注制于的表建及自佩平。

根据裂缝发育的概率高低,可将惠州油田潜山 风化带划分为4类裂缝优势发育区(图8)。Ⅰ类区 域裂缝发育综合概率>0.8,主要为构造高部位断层 附近区域,该区域裂缝主要受断层及溶蚀作用控制, 岩性对裂缝发育的控制作用不明显;Ⅱ类区域裂缝 发育综合概率介于0.5~0.8,主要为构造高部位距 离断层80m以外的花岗岩体,该区域断层作用相 对较弱,但溶蚀作用强烈,早期被充填的裂缝受溶 蚀作用改造再次打开形成有效缝;Ⅲ类区域为裂缝 发育综合概率介于0.3~0.5的区域,为构造低部位 距离断层150m范围以外的花岗岩体;Ⅳ类区域 裂缝发育综合概率<0.3,为裂缝不发育区,主要分 布在构造低部位远离断层、以基性喷出岩为主的 区域。

统计惠州油田 4 口钻遇潜山的探井含油气性 显示,处于 II 类裂缝发育区的 HZ-1 井及 I 类裂缝 发育区的 HZ-3 井测试日产气均超过 30 万 m³/d,表 现出较高的产能;处于 IV 类裂缝发育区的 HZ-2 井和 HZ-4 井未钻遇风化带, HZ-2 井测试日产油 <10 m³/d, HZ-4 井钻遇干层。单井测试产能与预 测裂缝发育优势区具有较好的一致性,说明研究结 果具有较高的可靠性。

图 8 潜山风化带裂缝发育优势区预测

Fig.8 Prediction of dominant zone of fracture development in the weathering zone of buried hill

5 结论

(1)惠州油田潜山发育构造缝、溶蚀缝及成岩缝3类裂缝。其中,构造缝在研究区广泛发育;溶蚀缝主要分布在潜山风化带构造高部位及中、低部位浅层,内幕带基本未见裂缝溶蚀;成岩缝为相对

孤立的裂缝,对储层物性贡献意义不大。

(2)惠州油田潜山裂缝的发育受区域构造运动、 岩性、断层及流体作用共同控制。构造作用是潜山 裂缝发育的主要控制因素,岩性是次要控制因素, 断层控制局部裂缝发育,流体作用控制现今裂缝 宽度。

(3)惠州油田潜山风化带可划分为4类裂缝发

育区。Ⅰ类区域主要为构造高部位断层附近 150 m 范围内的花岗岩发育区;Ⅱ类区域为断层附近 150 m 范围内的闪长岩及构造片岩发育区;Ⅲ类区域为距 离断层 150 m 范围外的花岗岩体;Ⅳ类区域为构造 底部位远离断层的闪长岩、构造片及玄武岩体。

(4)潜山油气藏的开发应优先动用Ⅰ类、Ⅱ类 区域储量,Ⅲ类区域可作为开发中后期的挖潜目标, Ⅳ类区域裂缝发育程度较低,应尽量避免在该区域 部署开发井。

参考文献:

- [1] 田立新, 刘杰, 张向涛, 等. 珠江口盆地惠州26-6大中型泛潜山 油气田勘探发现及成藏模式[J]. 中国海上油气, 2020, 32(4): 1 11.
- [2] 刘杰,徐国盛,温华华,等.珠江口盆地惠州26-6构造古潜山-古 近系油气成藏主控因素[J].天然气工业,2021,41(11):54-63.
- [3] 谢玉洪,高阳东.中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J]. 中国石油勘探,2020,25(1):20-30.
- [4] 周蒂,孙珍,陈汉宗,等.南海及其围区中生代岩相古地理和构 造演化[J].地学前缘,2005,12(3):204-218.
- [5] 史超群,王佐涛,朱文慧,等.塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造 带大北地区超深储层裂缝特征及其对储层控制作用[J].天然 气地球科学,2020,31(12):1687-1699.
- [6] 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.
- [7] 施和生, 杜家元, 梅廉夫, 等. 珠江口盆地惠州运动及其意义[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(3): 447-461.
- [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.
- [9] 冷杰,刘杰,陈安清,等.珠江口盆地惠州26-6潜山中生代中基
 性火山岩储层成因[J].成都理工大学学报(自然科学版),2021,
 48(6):661-674.
- [10] 朱明,施洋,朱俊章,等.惠州凹陷HZ21-1构造油气成因来源 及有利滚动勘探区预测[J].中国海上油气,2017,29(6):12-22.
- [11] 施和生,高阳东,刘军,等.珠江口盆地惠州26洼"源-汇-聚" 特征与惠州26-6大油气田发现启示[J].石油与天然气地质, 2022,43(4):777-791.
- [12] 贾培蒙,张向涛,陈维涛,等.珠江口盆地惠州凹陷惠州 21 古 潜山的形成演化及其对深层油气成藏的控制[J].海洋地质前 沿,2021,37(12):27-37.
- [13] 崔鑫,李江海,王运增,等.海拉尔盆地苏德尔特构造带基底

裂缝特征及控制因素[J]. 地质论评, 2016, 62(5): 1257-1270.

- [14] 刘文超,汪跃,廖新武,等. 渤海西南部海域变质岩潜山优质 储层发育规律及成因机理[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(12):
 47-55.
- [15] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气 藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [16] 汪勇.车排子地区石炭系火山岩裂缝成因特征及控油作用研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2019.
- [17] 唐历山,范彩伟,张焱,等.琼东南盆地花岗岩潜山发育演化 及控藏作用[J].海洋地质前沿,2023,39(3):81-90.
- [18] 田立新, 施和生, 刘杰, 等. 珠江口盆地惠州凹陷新领域勘探 重大发现及意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(4): 22-30.
- [19] 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]. 地质科技通报, 2018, 37(2): 165-173.
- [20] 刘海伦.珠江口盆地珠一坳陷裂陷结构:基底属性与区域应 力联合制约[D].武汉:中国地质大学,2018.
- [21] 倪金龙,夏斌,刘海龄.南海及邻区前中生代构造演化与东特 提斯构造域阴[J].海洋地质动态,2005,21(10):11-16.
- [22] 邓永辉,王华,衡立群,等.火成岩复杂岩性潜山"相控"裂缝 建模及质控方法:以惠州 26-6 油田潜山油气藏为例[J].科学 技术与工程,2023,23(18):7671-7677.
- [23] 郑华,康凯,刘卫林,等. 渤海深层变质岩潜山油藏裂缝主控 因素及预测[J]. 岩性油气藏, 2022, 34(3): 29-38.
- [24] 刘国平,董少群,李洪楠,等. 辽河盆地西部凹陷古潜山天然
 裂缝特征及其影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2020, 4(13):
 525-533.
- [25] 张鹏飞,刘惠民,曹忠祥,等.太古宇潜山风化壳储层发育主 控因素分析:以鲁西-济阳地区为例[J].吉林大学学报(地球 科学版),2015,45(5):1289-1298.
- [26] 李思伟.珠江口盆地惠州凹陷新生代火山岩:从岩石成因到 火山岩储层[D].长春:吉林大学,2020.
- [27] 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.
- [28] 杜晓峰,刘晓健,张新涛,等. 渤海海域太古界变质岩储层特 征与形成控制因素[J]. 中国海上油气, 2021, 33(3): 15-27.
- [29] 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与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(2): 262-270.
- [30] 马清, 覃军, 徐靖琦, 等. 丽水凹陷基岩岩性分布预测: 以丽水 A 洼为例[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(7): 87-96.
- [31] 陈心路,赵志平,惠冠洲,等. 渤海海域变质岩风化壳发育特 征及其储层定量预测[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(10): 33-41.
- [32] 孙爽,赵淑霞,候加根,等.致密砂岩储层多尺度裂缝分级建 模方法:以红河油田92井区长8储层为例[J].石油科学通报, 2019,4(1):11-26.

Characteristics and major controlling factors of the fractures in igneous buried hill reservoirs in Huizhou Oilfield

DENG Yonghui, DAI Jianwen, WANG Hua, HENG Liqun, YANG Jiao, CAI Junjie (Shenzhen Branch of CNOOC (China) Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: To clarify the reservoir quality and development potential of the igneous buried hill reservoir in Huizhou Oilfield, the characteristics, spatial distribution, and key controlling factors of fractures were studied comprehensively by using the data of core, imaging logging, and thin section. Results show that three groups of NW-, NE-, and EW-trending fracture systems are developed in the buried hill reservoirs, of which the NW-trending fracture system is dominant. The main frequency of the fracture dip angle is $49^{\circ} \sim 60^{\circ}$. Three types of fractures were distinguished, i.e., structural fractures, dissolution fractures, and diagenetic fractures. The structural fractures are major types, followed by dissolution fractures, and diagenetic fractures are isolated and contributing little to the reservoir properties. The development of fracture was controlled by tectonic, lithologic, and fault and fluid action. Multi-stage tectonic movement was the mechanical basis of the fracture formation in the buried hill rock. Granite and diorite were conducive to the formation of fractures. The trap-control fault affected the fracture development in range of about 150 m, and the influence range of the secondary faults was about 80 m. Based on quantitative characterization of main controlling factors of fracture development, the dominant region of fractures in the buried hill was predicted by PR multiple information probability fusion method. In addition, four dominant fracture zones were recognized in the weathering zone in the buried-hill. This research provided an important reference for reservoir evaluation and development of the buried hill reservoir in Huizhou oilfield.

Key words: Huizhou Oilfield; igneous buried hill; fracture characteristics; primary controlling factors; information probability fusion