

百色盆地那坤地区那读组淡水灰岩储层 裂缝成因分析

肖 玲¹ 郑荣才² 魏钦廉¹

(1. 西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

摘要:以岩心描述为基础, 结合声发射实验和碳氧同位素、包裹体成因类型及均一温度分析成果, 对那坤地区那读组淡水灰岩储层裂缝特征和裂缝成因进行了深入研究。研究表明: 那坤地区那读组淡水灰岩储层主要发育有垂直裂缝、高角度裂缝和斜交裂缝; 裂缝主要有构造裂缝与非构造裂缝两类, 构造裂缝有追踪叠加成岩压裂斜缝发育形成复合裂缝; 裂缝部分被方解石完全充填或半充填, 部分未被充填而呈开启状; 裂缝发育受到 3 次不同构造应力场作用的影响; 构造裂缝对改造和改善储层孔渗性具有重要的贡献。

关 键 词:裂缝; 淡水灰岩; 百色盆地; 声发射

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2012)04-0965-07

在现阶段中国石油对外依存度逐年增高的背景下, 随着常规孔隙型油气藏储量的日益减少, 裂缝型油气藏将成为今后寻找油气藏的主攻方向之一^[1-3]。百色盆地古近系那读组淡水灰岩被列为该盆地三大储集岩类中的主要类型之一, 已有较多钻井钻遇的淡水灰岩中频繁出现良好油气显示, 部分钻井获低产油流, 并已圈定一定的含油面积与储量, 显示此类灰岩具备一定的成烃成藏条件和油气勘探开发潜力。百色盆地那坤地区古近系那读组湖相碳酸盐岩段研究程度相对较低, 仅陈元壮、彭军等^[6-9]对其沉积相、岩石学特征、储集空间类型作了初步研究, 鲁法伟^[10]等也对百色盆地古潜山裂缝进行地震预测, 而对有关淡水灰岩储层裂缝成因及形成期次问题的研究尚显薄弱。裂缝既是主要的储集空间, 也是良好的渗流通道, 还控制着溶孔、溶洞的发育, 影响着储集层中流体的分布状况以及钻井液的侵入^[11]。因此, 研究该区淡水灰岩储层裂缝特征, 分析其成因机制, 了解裂缝对储层孔渗贡献, 对于分析研究区淡水灰岩成藏机理、明确成藏控制因素、提高钻探成功率及

提高产能等均具有重要意义。

1 区域地质概况

百色盆地位于广西中西部右江断裂带南侧, 为一个受北西向右江大断裂左旋走滑控制的、在印支期中三叠统褶皱基底上由走滑拉分作用形成的新生代内陆断陷湖盆^[8-9], 面积约 830 km²。盆地的构造演化划分为 3 个阶段, 即断陷期、拗陷期和抬升剥蚀期。盆内充填有古近系六组组、洞均组、那读组、百岗组和新近系伏平组、建都岭组、长蛇岭组的砂、泥岩、砾岩夹煤层为主, 仅洞均组和那读组下部, 局部以淡水灰岩为主, 总厚度大于 1 600 m, 其中那读组、百岗组为盆地内最重要的含油气地层单元(图 1), 尤其是那读组为盆地内分布范围最广、厚度最大和层位最稳定的烃源岩发育部位, 存在那读组泥岩、百岗组泥岩和伏平组—建都岭组泥岩夹薄层粉砂岩 3 套盖层。百色盆地古近系的淡水灰岩主要呈面积大小不等的长垣状, 分布于田东拗陷的东、西两侧, 东侧主要分布于洞均—林蓬一带, 西侧主要分布于那坤地区的那

收稿日期: 2012-02-06; 改回日期: 2012-05-01

基金项目: 国家重大专项(2011ZX05005-004-08HZ)、国家青年基金(41002043)与陕西省教育厅科研计划项目(11JK0745)联合资助。

作者简介: 肖玲, 女, 1981 年生, 博士, 讲师, 主要从事储层沉积学研究; E-mail: xiaoling4728@126.com。

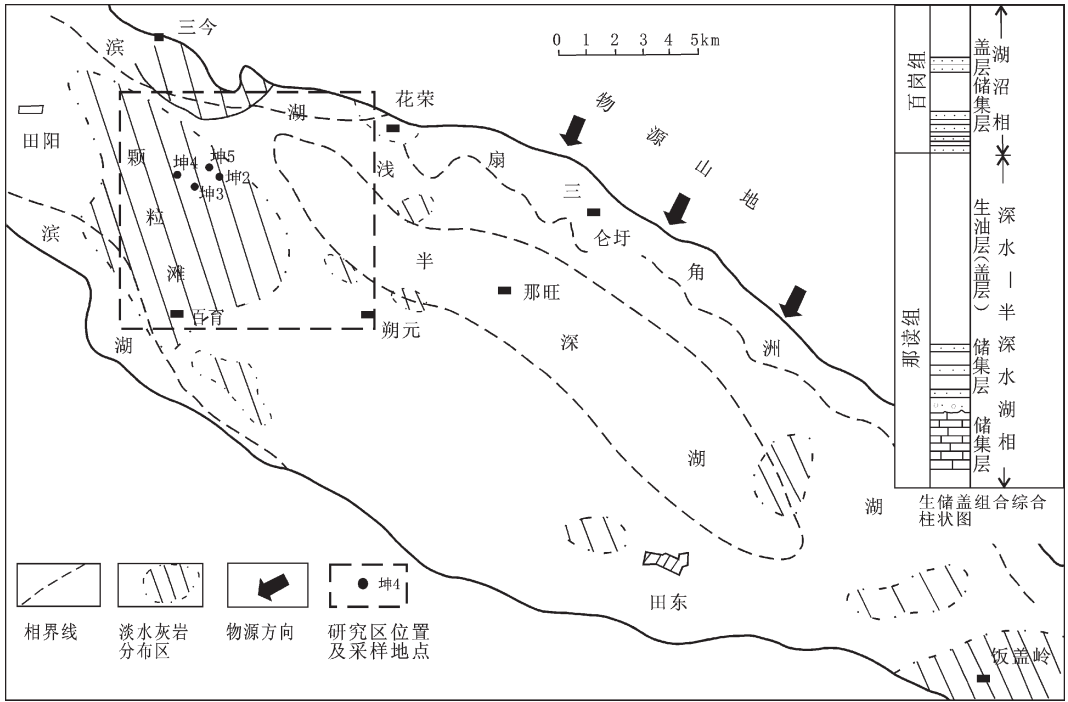


图 1 百色盆地那坤地区那读组淡水灰岩段分布及古地理概况示意图(据陈元壮(1997)资料,略作修改)

Fig.1 Sedimentary facies and distribution of lacustrine limestone of Nadu Formation in Nakun area, Baise Basin(modified after Chen Yuanzhuang, 1997)

满—冻邦—那百一线(图1),厚度变化大(1~47.5 m)。在那读组下部的湖相灰岩中普遍见有油气显示,个别井经常规试油后具有一定的生产能力,如坤2井和坤5井,因而该湖相灰岩段亦系百色盆地古近系中不可忽视的储集岩类,储集空间是缝、洞、孔,并且这些缝、洞、孔的不同组合构造了研究区主要的储集空间组合类型^[10],具备一定的成烃成藏条件。

2 裂缝成因类型及形成期次

那坤地区那读组淡水灰岩中裂缝发育强度虽然不很高,但也较为常见,据岩心观察资料统计,一般为0.5~1条/m,局部较密集处为2~3条/m。按成因特征可划分为成岩压裂缝和构造裂缝2种类型,各具不同的产状特征和油气地质意义。

(1)成岩压裂缝

此类裂缝的成因与上覆地层的静水负荷压力超出岩层抗破裂强度造成的破裂作用有关,按产状特征,可分为直立缝和斜缝2类。前者裂缝倾角为85~90°,断面呈不规则的波状,局部直立缝密集发育的部位可形成向上分叉、向下消失的树枝状,或由共轭裂缝构成网状裂缝系统(图2-I)。单条裂缝延伸长

度较短,一般不贯通或局部贯通岩心。缝宽0.1~0.2 mm,较宽处为0.5~1 mm,大多具上端开启—半开启,下端闭合的张性破裂性质,缝内主要被砂泥质或有机质组分充填。后者裂缝倾角为50~60°,断面呈不规则波状、锯齿状,或为平滑状,局部较密集的部位由共轭裂缝组成相互交叉和沟通的网状裂缝系统(图2-II)。单条裂缝延伸较长,贯穿岩心。缝宽0.1~0.2 mm,半开启状,显示张扭性破裂性质,缝内主要被砂泥质和有机质充填,局部见原油沿裂缝渗流和沿裂缝两侧的基质岩浸染形成的油斑现象,或被后期构造裂缝追踪叠加形成成岩压裂缝和构造裂缝复合发育的现象,并充填有热液方解石。

(2)构造裂缝

此类裂缝与构造活动造成的岩层破裂作用有关,也为那读组淡水灰岩中最常见的裂缝类型。产状一般以高角度斜缝为主,倾角一般为50~70°,以单条裂缝为主,或为交叉的共轭裂缝,贯穿岩心,推断裂缝有较长的延伸距离。断面较平直,或呈规则的微波状,表面往往发育有多组相互呈交叉状的擦痕,裂缝倾角为50°,表面具2组交角为20°的擦痕,坤5井—4(20/28)号岩心样品中,裂缝倾角为70°,表面

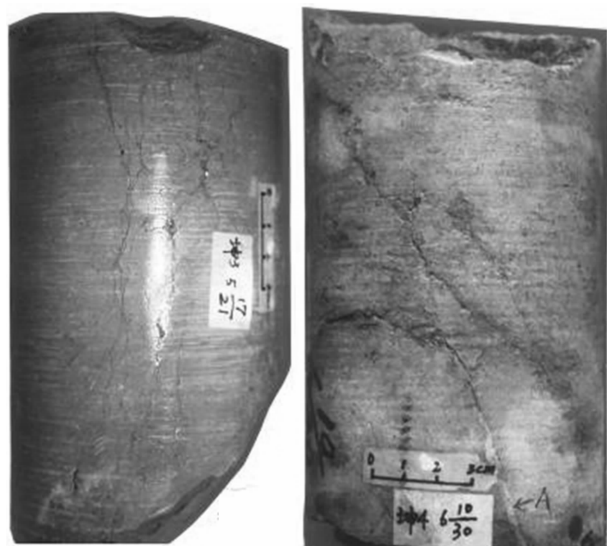


图 2 淡水灰岩储层成岩裂缝特征

I—成岩压裂成因的直立缝,坤 3 井-5(17/21),井深 1068.96~1069.12 m; II—成岩压裂成因的斜缝,由 2 组低角度相交斜缝构成网状裂缝系统,坤 4 井-6(10/30),井深 1129.66~1129.82 m

Fig.2 Diagenetic fracture characteristics of freshwater limestone reservoir

I—Nearly vertical diagenetic fissure, well Kun 3-5(17/21), 1068.96~1069.12 m; II—Oblique crossing of diagenetic fissure, netted fractures formed by two groups of low angle intersected oblique fissures, well Kun 4-6(10/30), 1129.66~1129.82 m

具 3 组交角大于 30° 的擦痕,擦痕表面均覆有碳化沥青薄膜,并被进一步溶蚀成坑洼状,缝面和坑洼内具有充填过原油后留下的油迹(图 3-I),这种 2 组或 2 组以上相交擦痕发育在同一裂缝断面上的现象,也同样出现在新坤 2 井-7(21/38)号岩心样品中(图 3-II),系淡水灰岩构造裂缝中最常见的现象,说明淡水灰岩中的裂缝系多期次构造活动的产物。因取心段中岩心往往沿构造裂缝自然开裂,缝宽不清楚,但可判断其宽度至少在 0.2 mm 以上,大多呈开启—半开启状。在此类裂缝中,出现 2 种具特殊油气地质意义的现象:其一为构造裂缝有追踪叠加成岩压裂斜缝发育形成复合裂缝的特点,且沿裂缝出现局部的强烈溶蚀作用,形成顺裂缝发育的洞蚀孔洞,大的孔洞可达 $2\text{ cm} \times 6\text{ cm}$,呈不规则的串珠状分布,内被淡褐色的巨晶方解石充填。巨晶方解石中含有较多呈负晶形状或不规则状的液相和气液二相原生包裹体,以及呈线形分布的次生烃包裹体(图 3-III、IV),其中液相部分呈淡黄色,气相部分呈边缘很宽很暗的浑圆状,说明以有机包裹体类型为主。

包裹体的均一温度为 $90 \sim 146^\circ\text{C}$,平均为 113.3°C ,盐度因包裹体中含有大量烃类化合物组分而不能测定(温度下降达 -45°C 时包裹体中的液相组分仍未冻结,原因与包裹体中含有大量烃类化石物有关)。方解石的碳氧同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 $-3.55 \sim -7.465\text{‰}$,平均为 -5.508‰ , $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 为 $-10.66 \sim -12.8\text{‰}$,平均为 -11.488‰ ,其中 $\delta^{13}\text{C}$ 略高于淡水灰岩,而 $\delta^{18}\text{O}$ 则明显偏负。由 $\delta^{18}\text{O}$ 外部测温法平衡温度计算公式($t^\circ\text{C} = 17.04 - 4.34 \delta^{18}\text{O} + 0.16 \delta^{18}\text{O}_2$,据大场忠道等,1972),求得方解石形成时的平衡温度为 $77.24 \sim 99.4^\circ\text{C}$,平均为 88.32°C ,略低于包裹体的均一温度。以上特征足以说明沿裂缝发育的溶蚀流体和方解石的沉淀作用,主要发生在富含烃类化合物组分的酸性热液中,热液的来源应与地层中、特别是烃源岩中有机质组分进入脱羧基热演化阶段排出的酸性有机热液有关。此类酸性有机热液的溶蚀作用,可能也是造成那读组淡水灰岩于早成岩阶段晚期—晚成岩阶段早期曾一度被不同程度地溶蚀,于局部地区和层段形成较为丰富的次生孔隙和溶蚀孔洞,并被相继运移进入的油气占据而形成有效储集空间的主要原因;其二为不同期次或不同方向的构造裂缝擦痕面,主要由富含有机质的淡褐色重结晶方解石组成,其表面无一例外地发育有碳化沥青薄膜(图 3-I、II),擦痕面本身亦发育有坑、洼不平的溶蚀孔洞,裂缝两侧的基质岩中次生溶孔亦较为发育,且溶蚀孔洞或次生溶孔主要被原油充填,不仅显示构造裂缝为重要的油气运移和储集空间,同时由不同期次或不同方向的擦痕面均伴生有碳化沥青和相应的溶蚀和原油充填作用,显示淡水灰岩中曾发生多期次的油气运移和成藏作用。

(3) 淡水灰岩破裂作用的声发射实验

地下岩层中普遍发育微观的或隐蔽的格里菲斯微裂纹 (Griffith microfracture),这种微裂纹可以是多期应力场作用形成的。实验时,样品在加载过程中因微裂纹失稳扩展(破裂)而构成不可逆的 Kaiser 效应。理论上,当施加的应力达到古应力场强度时,微裂纹才会开始扩张,并由此造成发射次数和强度急剧增加,因而施加在该点上的应力值可相当古应力场强度。如果单方面连续施加载荷力,由不同期次的构造应力所形成的微裂纹会相继发生扩展而形成多个强度不一的 Kaiser 效应点。因而,利用声发射实验 AE 曲线上出现的 Kaiser 效应点的个数,

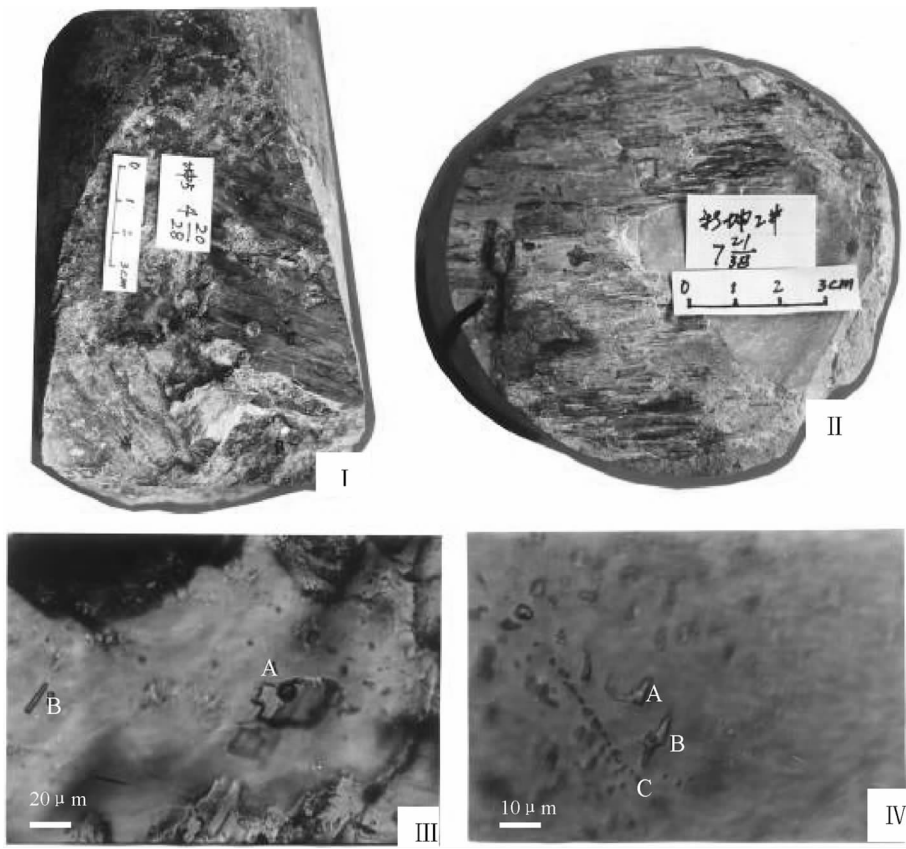


图 3 淡水灰岩储层构造裂缝特征

- I—构造斜缝,表面发育 3 组交角较大、产状各异的擦痕,坤 5 井-4(20/28),井深 1133.4~1133.6 m;
II—构造斜缝,裂缝面发育多组低角度相交的擦痕,新坤 2 井-7(21/28),井深 1152.94~1153.02 m;
III—发育有负晶形状气液两相原生有机包裹体(A)和针状液相有机包裹体(B),坤 4 井-6(11/30),井深 1058.84~1058.96m;IV—与 III 同一样品不同位置,显示不规则状的纯液相(A)和气液两相(B)原生有机包裹体,以及后期呈线状分布的次生纯液相为主的烃包裹体(C)

Fig.3 Structural fracture characteristics of the freshwater limestones reservoir

- I—Oblique crossing of structural genesis, three groups of stria with large crossing angle and different shapes, well Kun5 -4 (20/28), 1133.4~1133.6m; II—Oblique crossing of structural genesis, multigroup of stria with low crossing angle, well Xinkun 2 -7(21/28), 1152.94~1153.02m; III—Gas-liquid two-phase primary organic inclusions with negative-crystal structure(A), and liquid phase organic inclusions with acicular shape, well Kun 4-6(11/30), 1058.84~1058.96m; IV—At different sites of the sample of III—pure liquid phase inclusions with irregular shape (A), gas-liquid two-phase primary organic inclusions (B), and later pure liquid phase second inclusions in linear distribution

可以判断岩层所经受过的最少应力作用期次,以及实验各应力分量的大小^[12]。

为了进一步了解淡水灰岩破裂作用,特别是与构造活动有关的破裂作用特征、裂缝发育期次及其与储层发育的关系,本次研究对部分样品进行了无方位岩石声发射实验,实验结果由表 1 所示。从表中可看出,每 1 件样品均记录了岩层曾遭受到 3 次构造应力场作用,与淡水灰岩中发育有构造裂缝,且裂缝中最多可识别出 3 组活动方向有所差别的擦痕相一致。根据广西百色盆地构造演化成果认为百色盆地新生代构造强度从那读期开始逐渐减弱^[13];凯塞

效应点所记忆的古应力对应了 3 次构造运动,即第三级应力强度最大,对应构造运动最强烈的那读构造期(始新世中—晚期),第二级应力场为那读期末的百色构造运动,第一级应力场最小,为新近纪结束时构造强度最小田阳构造运动。此外,淡水灰岩的抗压强度变化较大,为 19.49~188.67 MPa,由于现今测定的岩心样品抗压强度并不完全代表岩层的原始抗压强度,而是代表经历构造作用改造后的次生抗压强度。对油气储层而言,储层在经受构造作用和溶蚀作用时,常于储集岩的内部形成众多微裂缝和溶蚀孔洞,在降低岩石密度和增加岩石孔隙度和渗透率

的同时,也大大降低了岩石的抗压强度。其基本特点是,储层经受的构造和溶蚀作用越强,储集岩中微裂缝、显缝和次生溶蚀孔隙越发育,岩石的抗压强度越低,反之亦然。对照淡水灰岩的抗压强度与孔隙度和渗透率的关系(表 1),除坤 5 井-4(25/28)号岩芯样品外,大部分样品具有上述的基本特点,其中尤以坤 3 井-5(5/21)、坤 3 井-6(5/36)、坤 5 井-5(12/43)和坤 5 井-5(13/43)号岩心样品最典型,前 2 件样品的抗压强度为 92.44~102.94 MPa,孔隙度为 3.08%~4.28%,渗透率为 $0.01\times10^{-3}\sim0.02\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,为典型的低孔低渗致密岩性,可代表未经构造破裂和溶蚀作用改造的淡水灰岩原始抗压强度和基质岩孔渗性。而后 2 件样品的抗压强度仅为 19.49~34.18 MPa,但孔隙度和渗透率可分别高达 20.63%~24.43%和 $4.4\times10^{-3}\sim14.18\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,为微裂缝和次生溶孔较为发育的高孔中高渗储集岩。由声发射实验的抗压强度与物性关系,可以看到随抗压强度与储层物性呈明显的负相关关系,可充分证明构造作用及其与构造作用相伴生的溶蚀作用,对储层发育和改善储层的孔渗性有重要贡献作用。

3 结 论

- (1)储层主要发育垂直裂缝、高角度裂缝和斜交裂缝;裂缝主要有构造裂缝与非构造裂缝两类,构造裂缝有追踪叠加成岩压裂斜缝发育形成复合裂缝;裂缝部分被方解石完全充填或半充填,部分未被充填而呈开启状。
- (2)岩石声发射实验表明淡水灰岩储层裂缝发育曾受到 3 次不同构造应力场作用的影响,与淡水灰岩中发育有构造裂缝,且裂缝中最多可识别出 3 组活动方向有所差别的擦痕相一致;岩石的抗压强度与储层物性之间呈负相关关系,充分证明构造作用及其与构造作用相伴生的溶蚀作用,对储层发育和改善储层的孔渗性有重要贡献作用。
- (3)不同期次或不同方向的构造裂缝擦痕面,主要由富含有机质的淡褐色重结晶方解石组成,其表面无一例外地发育有碳化沥青薄膜,擦痕面本身亦发育有坑、洼不平的溶蚀孔洞,裂缝两侧的基质岩中次生溶孔亦较为发育,且溶蚀孔洞或次生溶孔主要被原油充填,不仅显示构造裂缝为重要的油气运移

表 1 淡水灰岩的声发射实验成果表
Table 1 The results of acoustic emission experiment on the freshwater limestone reservoir

井号	井深/m	岩性	抗压强度/MPa	Ae 点应力分量		
				一级	二级	三级
坤 2 井-7(30/38)	1155.5	微晶核形石藻团块灰岩	45.41			
坤 3 井-5(5/25)	1066.76	微晶藻团块灰岩	102.94	10.22	26.58	32.72
坤 3 井-6(5/35)	1071.3	微晶藻屑灰岩	92.44	8.21	12.73	30.39
坤 4 井-2(2/44)	1099.5	微晶生物屑砂屑灰岩	65.57	6.23	17.75	22.96
坤 4 井-4(20/28)	1117.4	微晶藻屑藻团块灰岩	31.9	4.64	10.31	15.46
坤 4 井-5(6/37)	1121.3	微晶藻屑藻团块灰岩	57.23	13.63	17.82	27.46
坤 5 井-4(20/28)	1133.4	生物屑微晶灰岩	49.36	9.28	18.56	21.03
坤 5 井-4(25/28)	1134.3	含油微晶砂屑核形石灰岩	188.67	10.27	24.64	32.44
坤 5 井-5(12/43)	1137.5	油浸砂屑核形石灰岩	19.49	6.37	8.49	10.27
坤 5 井-5(13/43)	1137.6	油浸核形石灰岩	34.18	7.76	16.56	22.88

注:测试工作是在成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室进行的,声发射测试仪器为 AE—04 型声发射检测系统。

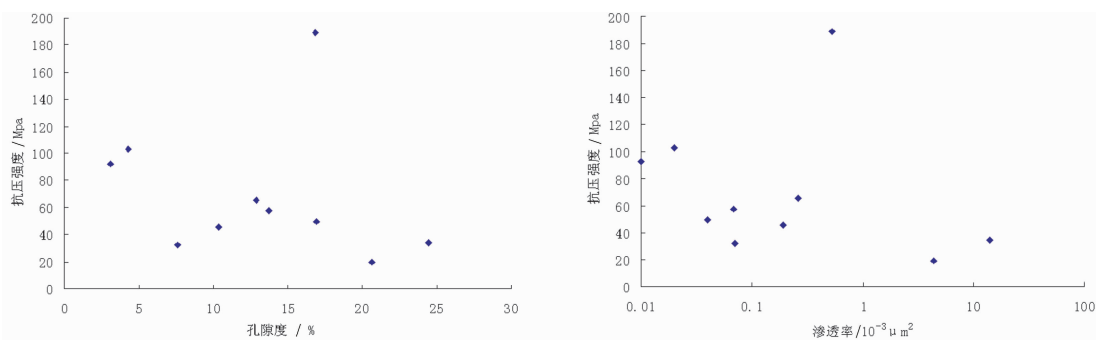


图 4 淡水灰岩抗压强度与储层物性关系图

Fig.4 Relationship between physical properties of the freshwater limestone reservoir and tensile strength

和储集空间,同时由不同期次或不同方向的擦痕面均伴生有碳化沥青和相应的溶蚀和原油充填作用,显示淡水灰岩中曾发生多期次油气运移和成藏作用。

参考文献 (References):

- [1] 李鹏春, 刘春晓, 张渊, 等. 塔中顺西区块奥陶系礁滩复合体裂缝特征及成因[J]. 石油学报, 2008, 29(5):694-700.
Li Pengchun, Liu Chunxiao, Zhang Yuan, et al. Characteristics and origins of fractures developed in Ordovician reef-bank complex in Shunxi area of central Tarim Basin [J]. Acta Petrole Sinica, 2008, 29(5):694-700(in Chinese with English abstract).
- [2] 任丽华, 林承焰, 李辉, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群裂缝发育期次研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(3):484-490.
Ren Lihua, Lin Chengyan, Li Hui, et al. Development period of fractures in the Budate Group in the Sudeerte Structural Zone, Hailaer Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(3):484-490(in Chinese with English abstract).
- [3] 倪新锋, 杨海军, 沈安江, 等. 塔北地区奥陶系灰岩段裂缝特征及其对岩溶储层的控制[J]. 石油学报, 2010, 31(6):933-940.
Ni Xinfeng, Yang Haijun, Shen Anjiang, et al. Characteristics of Ordovician limestone fractures in the northern Tarim Basin and their controlling effects on karst reservoirs [J]. Acta Petrole Sinica, 2010, 31(6):933-940(in Chinese with English abstract).
- [4] 苏劲, 张水昌, 杨海军, 等. 断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J]. 石油学报, 2010, 31(2):196-203.
Su Jin, Zhang Shuichang, Yang Haijun, et al. Control of fault system to formation of effective carbonate reservoir and the rules of petroleum accumulation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2):196-203(in Chinese with English abstract).
- [5] 苏朝光. 沾车地区沙四段湖相碳酸盐岩沉积特征及储层物性[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(6):20-26.
Su Chaoguang. Study of sedimentary facies and reservoir physical properties on lacustrine carbonate developing in Sha IV member of Zhancha area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(6):20-26(in Chinese with English abstract).
- [6] 彭军, 郑荣才, 陈果. 广西百色盆地东部古近系那读组湖相灰岩[J]. 古地理学报, 2004, 6(2):163-173.
Peng Jun, Zheng Rongcai, Chen Guo. Lacustrine limestone of the Nadu Formation of Paleogene in eastern Baise basin, Guangxi [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(2):163-173 (in Chinese with English abstract).
- [7] 彭军, 陈果, 郑荣才. 百色盆地东部古近系那读组湖相灰岩储层特征[J]. 地球学报, 2005, 26(6):557-563
Peng Jun, Chen Guo, Zheng Rongcai. Characteristics of the lacustrine limestone reservoir in the Paleogene Nadu Formation, Eastern Bose Basin, Guangxi [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(6):557-563(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈元壮, 吴明荣, 刘洛夫, 等. 广西百色盆地古近系始新统沉积相特征及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(6):419-433.
Chen Yuanzhuang, Wu Mingrong, Liu Luofu, et al. Characteristics and evolution of sedimentary facies of the Eocene of Paleogene in Baise Basin, Guangxi [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(6):419-433(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈元壮, 吴明荣, 刘洛夫, 等. 百色盆地古近系那读组和百岗组层序地层划分与沉积演化 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2005, 29(1):1-6.
Chen Yuanzhuang, Wu Mingrong, Liu Luofu, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of Nadu Formation and Baigang Formation of the Paleogene in Baise Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2005, 29(1):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [10] 鲁法伟, 杨风丽, 王清, 等. 利用多种地震方法预测百色潜山裂缝性油气储层[J]. 南方油气, 2005, 18(2):26-29.
Lu Fawei, Yang Fengli, Wang Qing, et al. Forecasting fractural reservoirs of buried mountains in Baise Basin through various seismic methods[J]. Southern China oil & Gas, 2005, 18(2):26-29 (in Chinese with English abstract).
- [11] 魏钦廉, 赵平海, 付顺. 川东五百梯地区石炭系储集层裂缝分布规律[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2), 150-153.
Wei Qinlian, Zhao Pinghai, Fu Shun. The fractural distribution of Carboniferous reservoir in Wubaiti Area in Eastern Sichuan Province[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(2), 150-153

(in Chinese with English abstract).

[12] 郑荣才. 储层裂缝研究的新方法声发射实验[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3):186-189.

Zheng Rongcai. A new method of studying reservoir fractures: acoustic emission experiment [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 186-189(in Chinese with English abstract).

[13] 滇黔桂石油地质志编写组. 滇黔桂油气区 (中国石油地质志 卷十一)[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.

Writer Group of the Oil Geology of Yunnan-Guizhou-Guangxi Oil Field. Petroleum Geology of China Vol.11 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992(in Chinese).

Genesis of freshwater limestone of Paleogene Nadu Formation
in Nakun area, Baise Basin

XIAO Ling¹, ZHENG Rong-cai², WEI Qin-lian¹

(1. School of Petroleum Resource, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: On the basis of core observation,the authors studied the features and genesis of freshwater limestone by acoustic emission technology, stable isotopic analysis, fluid inclusion homogenization temperature of filled components in fractures. The results show that the main fractures of the freshwater limestone reservoir are of three types: vertical fissures, high-angle fissures, and oblique fissures. The tectoclase and non-tectoclase constitute two main fissure types. The complex fracture can be formed by tectoclase overlying diagenetic fractures. Some fissures are completely or partly filled with calcite, whereas others are effective fractures without fillings. The development and evolution of fractures have been affected considerably by three different tectonic stress fields. The tectoclase has exerted important contribution to improving porosity and permeability of the reservoir.

Key words: fractures;freshwater limestone;Baise Basin;acoustic emission

About the first author:XIAO Ling, female, born in 1981, doctor, lecturer, mainly engages in the study of sedimentary reservoirs;E-mail:xiaoling4728@126.com.