

文章编号:1009-3850(2015)03-0056-07

白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲 前缘砂体储层特征及控制因素

刘惟庆¹, 吴伟¹, 林畅松², 秦成岗³, 舒良锋³, 王雨涵¹

(1. 河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454003; 2. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083; 3. 中国海洋石油深圳分公司研究院, 广东 广州 510240)

摘要:采用铸体薄片、岩石薄片、扫描电镜和压汞实验、物性分析等测试资料,对珠江口盆地白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体储层特征及控制因素进行研究。结果表明,该储层主要为灰色中细粒岩屑砂岩,成分成熟度、结构成熟度均较低。储集空间以次生孔隙为主,其次为剩余原生粒间孔、原生孔隙等。储层具有排驱压力较高、配位数较高、孔喉半径小和孔喉分选性较差的孔隙结构特点,为中-低孔、中-低渗型储层。储层发育受沉积相和成岩作用的复合控制,水分流河道砂体储集物性明显优于其它微相砂体。成岩作用过程主导储层物性变化,砂岩储集体中的原生储集空间因机械压实作用、胶结作用而大幅降低,后期溶蚀作用产生较多的次生储集空间,尤其是长石的溶蚀极大改善了本区储层物性,导致储集体中溶蚀性次生孔隙为主要的储存空间。

关键词:陆架边缘三角洲前缘;储层特征;成岩作用;珠江组;珠江口盆地

中图分类号:TE122.23

文献标识码:A

引言

白云凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷东部(图1a),总面积约 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,是珠江口盆地规模最大和最富有勘探开发前景的富烃凹陷^[1-2]。伴随着古近纪-新近纪南海的裂陷、拉裂、洋壳增生等过程,白云凹陷先后经历了裂陷湖盆、被动大陆边缘的沉积环境演化。在频繁的海退海进旋回中,白云凹陷发育了多套受陆架波折带控制的陆架边缘三角洲沉积,新生代总沉积厚度超过6000m,具有下陆上海的沉积特点^[1,3-5]。陆架边缘三角洲因具有分布面积广、厚度大和储层发育等特点,自从发现以来就成为重要的油气勘探目标。白云凹陷初期油

气勘探结果表明,凹陷北坡珠江组底部的陆架边缘三角洲前缘砂体是天然气充满度较高的有利储层^[6-8]。近年来,为满足勘探开发的需要,对番禺低隆起-白云凹陷进行了更为深入的地震地质、层序及有利储层沉积相带发育的研究^[9-12]。由于对白云凹陷北坡储层特征及控制因素研究相对较少,客观认识储层内部孔隙结构及影响孔隙发育的因素是进行油气田开发的前提^[13]。因此,本文拟以白云凹陷北坡珠江组底部陆架边缘三角洲为研究对象,进行前缘砂体储层物性微观特征和主控因素分析,为该类型油气藏的勘探和开发提供理论依据。

1 砂体储层分布特征

收稿日期:2014-08-04; **改回日期:**2015-05-29

作者简介:刘惟庆(1987-),男,硕士研究生,主要从事沉积地质及储层地质学研究。E-mail:liuweiqing1212@126.com

通讯作者:吴伟(1979-),男,硕士研究生导师,主要从事沉积地质教学与科研工作。E-mail:wei@hpu.edu.cn

资助项目:国家自然科学基金青年基金“利用修正的滨岸上超法分析辽东湾坳陷古近纪湖平面变化”(项目批准号:41102059)、油气资源与探测国家重点实验室开放课题“利用滨岸上超法分析辽中凹陷东营期湖平面变化”(项目批准号:PRP1109)

白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲位于 21Ma 和 18.5Ma 重要界面之间,是“白云运动”强烈沉降之后沉积充填的产物。21Ma 之前,白云北坡为浅海陆棚环境,发育浅海三角洲沉积^[6];21Ma 之后,“白云运动”的裂陷作用进一步扩张,大陆坡折向北迁移至白云北坡一带(图 1b),陆源碎屑供给量增加导致白云北坡形成大规模陆架边缘三角洲充填^[14-16]。

陆架边缘三角洲沉积平面上自北向南可划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲 3 个亚相。通过对 SQ21 层序界面向下 5 ~ 20ms 开窗提取 RMS 属性(图 1b),表明水下分流河道走向近似垂直陆架坡折,砂体被河道分割成块状,沿 NE 向呈带状分布。陆架坡折以下部分分布大量 NNW 向细小冲沟并向 SSE 方向汇聚形成多套斜坡扇朵体,这些朵体顺陆架坡折呈 NE 向排列展布。研究区内钻井较少,目前 8 口井钻遇三角洲平原和三角洲前缘砂体,至今无钻井钻遇前三三角洲斜坡扇朵体。已钻井中,A、B 井钻遇三角洲平原砂体,C、D、E 井钻遇三角洲前缘砂体。A、B 井钻获砂体以含砾砂岩、中-细粒砂岩为主,该井区低水位体系域不发育(图 1c);

C、D、E 井钻获砂体厚度 18 ~ 45m,岩性以中-细粒砂岩为主。在沉积相带展布格局中,此 3 口井位于陆架边缘三角洲前缘低位水道沉积位置,为储层发育的较有利沉积微相带。

2 储层微观特征

2.1 储层岩石学特征

对研究区珠江组储层取岩心观察以及 70 个样品铸体薄片鉴定资料统计,白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体储层岩性主要为岩屑砂岩(图 2)。其中石英含量较高,占碎屑总量的 51% ~ 72%,平均含量 63.8%;长石组分包括长石和花岗岩岩屑组分,在碎屑中含量较低,占全部取心段中碎屑约 1%;岩屑主要为变质岩岩屑和沉积岩岩屑。夹有较少的火成岩岩屑,岩屑中云母类矿物含量较少,岩屑含量占全部碎屑的 27% ~ 48%,平均约 35.1%。从岩屑类型含量上,可以认为物源区系主要以变质岩为主、岩浆岩为辅的杂岩区。碎屑岩样品粒度资料统计结果表明,储层砂岩粒径多在 0.125 ~ 0.5mm 之间,大部分属于中粒砂岩,不等粒砂岩和细粒砂岩次之,其余岩心段则发育泥质含量

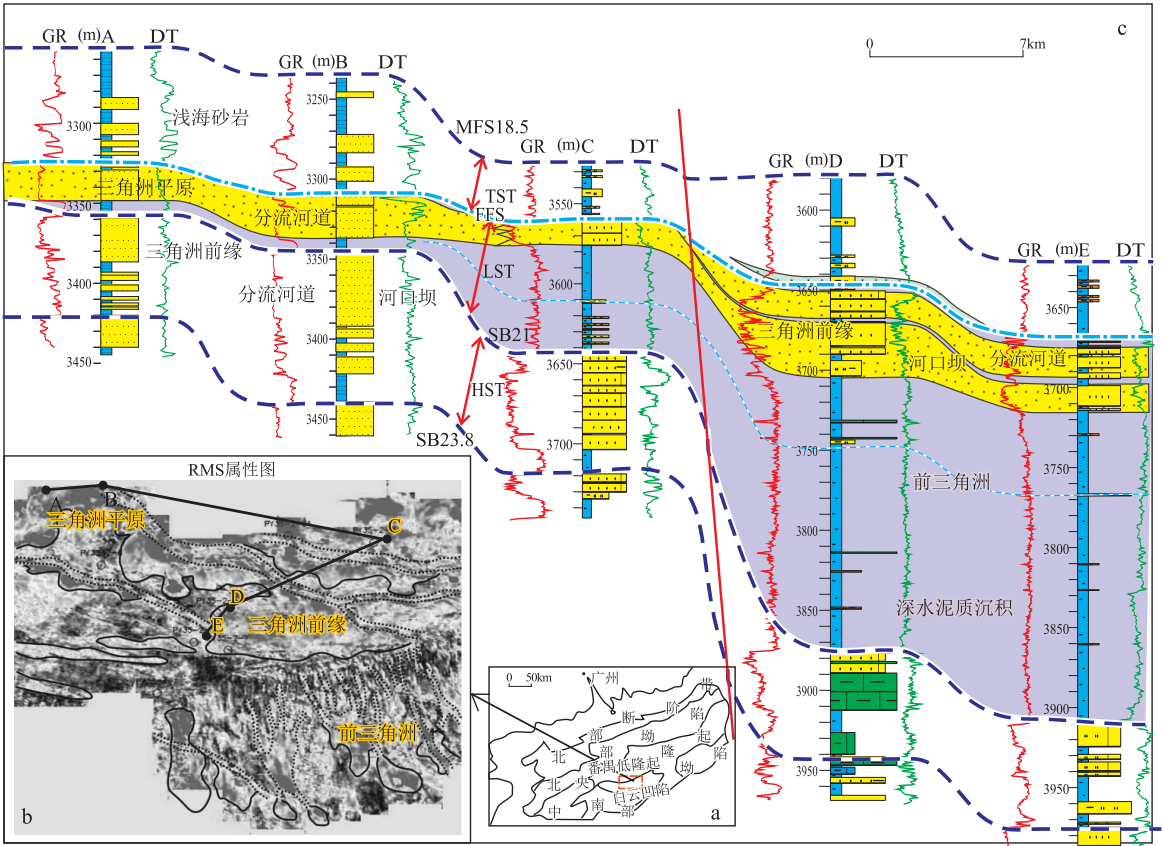


图 1 白云凹陷北坡井区沉积相和储层分布

Fig. 1 Sedimentary facies and sandstone reservoirs distribution on the northern slope of the Baiyun depression

较高的砂泥岩。碎屑分选性中等-差,磨圆度以次棱角状为主。70 件样品中,极大多数砂岩以颗粒支撑、点线接触的孔隙式-接触式胶结为主,主要胶结结构为高岭石充填式胶结结构和石英次生加大胶结结构,固结程度普遍较低。

从上述陆架边缘三角洲前缘砂体所具有的低成分成熟度和较低结构成熟度来看,陆架边缘三角洲前缘砂体具有近源和高能的沉积特征。

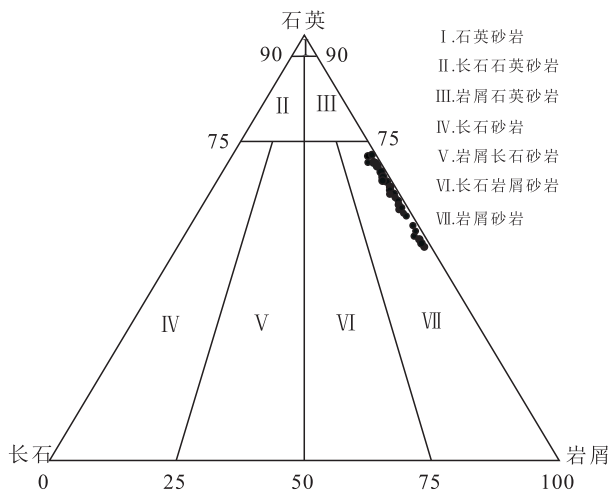


图2 珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体岩石学特征
Fig. 2 Plot illustrating the major compositions of the continental shelf margin delta front sandstones in the Zhujiang Formation

2.2 储集空间类型

白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体储层孔隙类型较多,按成因可划分为原生孔隙和次生孔隙。次生孔隙构成了主要的储集空间,占孔隙总体积的88.25%。

2.2.1 原生孔隙

储层原生孔隙包括原生粒间孔干涸剩余原生粒间孔,各原生孔隙具有以下特征。

(1)原生粒间孔。在铸体薄片下观察,碎屑颗粒多呈点-线接触,部分呈现出紧密堆积的线-缝合线接触,反映砂岩受到中等至较强的压实作用。原生粒间孔孔形多呈三角形和多边形,孔径一般为0.05~0.2mm,孔喉配位数2~5,孔喉连通性较好(图3a),为陆架边缘三角洲前缘砂体重要的孔隙类型。

(2)剩余原生粒间孔。剩余原生粒间孔为经压实、杂基充填和胶结作用改造后剩余的原生粒间孔。剩余原生粒间孔多呈多边形,孔径较小,分布范围0.01~0.1mm。剩余原生粒间孔中充填早-中成岩阶段形成的高岭石、石英和黄铁矿等次生矿

物,孔喉配位数与原生粒间孔相近(图3b),也为储层重要的孔隙类型。

2.2.2 次生孔隙

砂岩储层次生溶孔包括粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔和缝隙等,各类型次生孔隙具有如下特征。

(1)粒间溶孔。粒间溶孔为在原生粒间孔或充填剩余原生粒间孔的基础上,由于溶蚀作用使粒间孔周围的长石、岩屑等硅铝酸盐岩以及泥质杂基和粒间充填胶结物等受到不同溶蚀而形成的孔隙,常以孔隙边缘被溶蚀呈毛刺状和港湾状为识别标志。据铸体薄片观察,储层次生粒间溶孔孔形极不规则,孔喉配位数3~6,孔喉连通性好,含量较多(图3c,e),为陆架边缘三角洲前缘砂体最有效的储集空间类型。

(2)粒内溶孔。珠江组陆架边缘三角洲前缘砂岩储层粒内溶孔主要是长石粒内沿解理发育的溶孔。孔隙呈蜂窝状,粒径0.1~1mm以上,溶孔连通性较好(图3f),溶孔含量较高,为重要的储集孔。

(3)铸模孔。研究区取心段碎屑岩储层中铸模孔较少见,主要为长石颗粒溶蚀而成(图3g)。孔隙边缘较为平整,孔径0.1~0.4mm,孔内一般无充填物。少量铸模孔被次生粘土矿物充填,铸模孔连通性虽然较好,但由于含量较少,为研究区储层次要的储集孔。

(4)裂缝及溶缝。裂缝及溶缝在储层中局部较发育,以发育高角度成岩压裂缝为主,部分为顺层理发育的水平裂缝(图4h)。裂缝及溶缝在改善储层物性和扩容储集空间两个方面都起着积极的作用。

2.3 储层物性和孔隙结构特征

2.3.1 储层物性

储层物性特征是储集性能的决定性因素^[17]。对135块常规岩心物性样品分析资料进行统计,珠江组陆架边缘三角洲前缘砂岩储层孔隙度分布范围为5%~18.5%,集中在7%~16%,平均值为12.3%;渗透率分布范围为(0.094~958.31)×10⁻³μm²,大部分集中在(1.0~50)×10⁻³μm²,平均值30.1×10⁻³μm²。根据中国石油天然气集团公司天然气碎屑岩储层分类标准,回次取心砂岩大部分属于中-低孔、中-低渗储层。砂岩储层孔隙度与渗透率具有较好的正相关性,相关系数达到0.91(图4),表明砂岩的储集能力主要受控于砂岩基质孔隙与孔隙喉道^[18],但裂缝的发育可进一步改善局部储层渗透性。

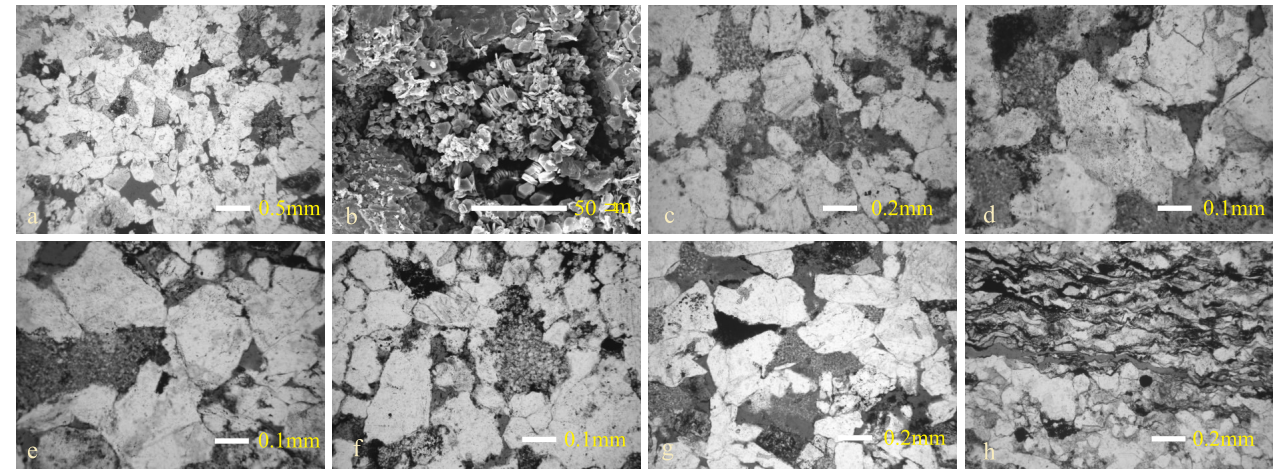


图3 珠江组储层孔隙类型特征

a. 粗粒岩屑砂岩,点-线接触为主,次生孔隙为主,发育有少量原生粒间孔(A),孔径0.15~0.4mm,井深3733.28m; b. 次生高岭石充填后剩余原生粒间孔(B),井深3736.03m; c. 细粒岩屑砂岩,次生溶蚀孔为主,类型为粒间溶孔(C)和颗粒溶孔,井深3736.03m; d. 粗粒岩屑砂岩,颗粒支撑,主要为颗粒溶孔和粒间溶孔(D),井深3746.29m; e. 粗中粒岩屑砂岩,次生溶蚀粒间孔隙(E)发育为主,井深3754.78m; f. 长石被溶蚀后形成沿解理发育的蜂窝状粒内溶孔(F),井深3737.28m; g. 中粗粒岩屑砂岩,颗粒溶孔和铸模孔(G),点状、片状喉道,井深3741.85m; h. 含泥质中细粒岩屑砂岩,可见裂缝(H),宽约0.03~0.05mm,井深3746.80m

Fig.3 Porosity types of the continental shelf margin delta front sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation

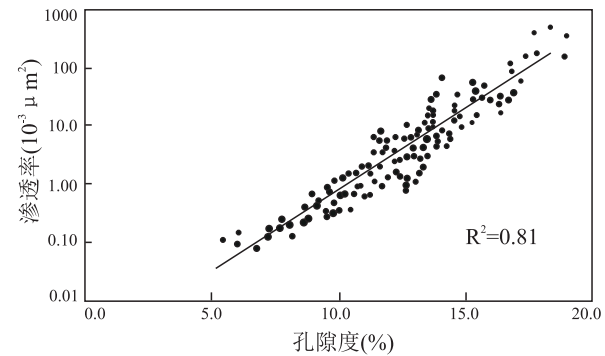


图4 岩孔隙度与渗透率关系图

Fig.4 Porosity vs. permeability for the continental shelf margin delta front sandstones in the Zhujiang Formation

2.3.2 储层孔隙结构

珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体储层排驱压力分布范围0.029~2.077MPa,平均值0.305MPa;中值压力0.204~5.372MPa,平均为1.091MPa;最大孔喉半径2.127~33.638μm,平均16.53μm;中值孔喉半径0.14~3.694μm,平均为1.505μm;退汞效率11.736~31.849,平均17.1。压汞曲线倾斜较明显(图5),中间平缓段较短。孔喉分选性中等至较差。上述资料表明,白云凹陷北坡陆架边缘三角洲前缘砂体储层排驱压力较高,中值压力较大,中值孔喉半径较小,孔喉分选性中等至差,具有中等-较差的孔隙结构和中-低孔渗性物性特点。

3 储层发育控制因素分析

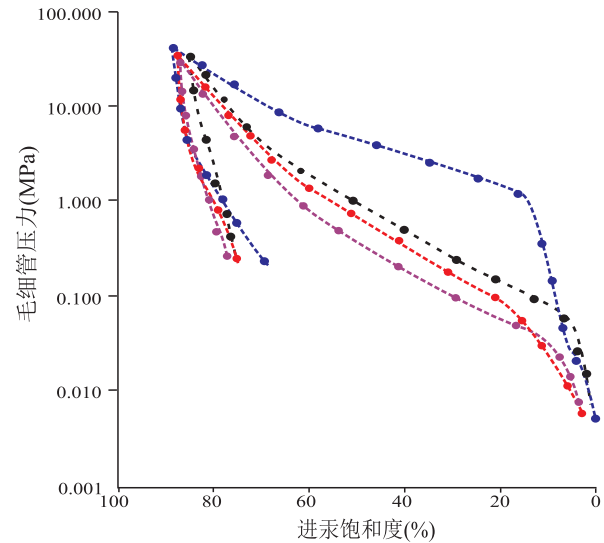


图5 储层压汞曲线特征

Fig.5 Plot illustrating the patterns of mercury injection curves for the continental shelf margin delta front sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation

3.1 沉积微相对储层发育的控制

沉积相对砂岩储层具有先天性的控制因素^[19]。白云凹陷北坡陆架边缘三角洲沉积体系依据测井和地震资料可识别出三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲3个亚相和三角洲前缘水下分流河道、河口坝、前缘席状砂等一系列微相类型。据133块岩心样品的物性分析数据资料表明,不同沉积微相的砂体物性有很大的差异(表1)。水下分流河道微相距

物源最近,形成时的水动力条件强,为高能环境。岩性以中-粗粒岩屑砂岩为主,储层孔、渗较好,以中-低孔、中-低渗储层为主,砂体储集物性最好,对储层的发育最有利;前缘席状砂微相经过了波浪和沿岸流搬运,其成分成熟度相对较高,碎屑分选性和磨圆度较好,粒度较细,岩性以灰色中-细粒岩屑

砂岩为主,孔隙度和渗透率值变化较大,砂体储集物性次之;河口坝微相碎屑颗粒分选性和成熟度最高,但粒度最细,泥质含量上升,沉积物中泥质条带和泥质纹层明显增多,砂体储集物性较差或为非储层微相类型。

表 1 储层不同沉积微相砂体孔、渗特征

Table 1 Porosity and permeability for individual sedimentary microfacies sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation

沉积微相	样品数	孔隙度(%)		渗透率($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	
		区间值	平均值	区间值	平均值
水下分流河道	98	7.8 ~ 17.7	13.3	0.22 ~ 640.1	30.3
河口坝	26	5.0 ~ 15.4	10.1	0.09 ~ 28.584	4.3
前缘席状砂	9	1.3 ~ 18.5	8.6	1.44 ~ 958.3	19.8

3.2 成岩作用对储层物性的影响

通过岩石薄片鉴定、铸体薄片、扫描电镜观察研究表明,研究区砂岩主要发生机械压实作用、胶结作用和溶蚀作用等成岩作用,这几种成岩作用对砂岩储层原生孔隙的保存、破坏和次生孔隙的发育都有一定的影响。机械压实作用和胶结作用对储层起破坏作用,而溶蚀作用对改善储层物性起到积极作用^[20]。

3.2.1 破坏性成岩作用对储层的影响

珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体在固结成岩过程中主要经历了机械压实、胶结作用、次生矿物充填等作用,都是使储层孔隙减小的破坏性成岩过

程。破坏性成岩过程对储层孔隙的影响很大,具体表现在以下几个特点:(1)砂岩储层处于中成岩阶段的 A-B 期,局部受较强的压实作用已经进入晚成岩 A 期阶段。砂岩以点-线接触为主(图 6a),表明储层所受机械压实作用较大,岩屑和云母等塑性矿物发生明显塑性变形,原生孔隙大多遭到破坏,储层孔隙以次生孔隙为主;(2)胶结作用对储层孔隙的破坏程度仅次于压实作用。储层分布最广的胶结物为粘土矿物胶结,据扫描电镜和 X 射线衍射全岩定量分析,起胶结作用的粘土填隙物平均含量 12.98%,其次为相当于石英三级次生加大边的强硅质胶结。石英颗粒呈共轴生长状态,向粒间孔中心扩

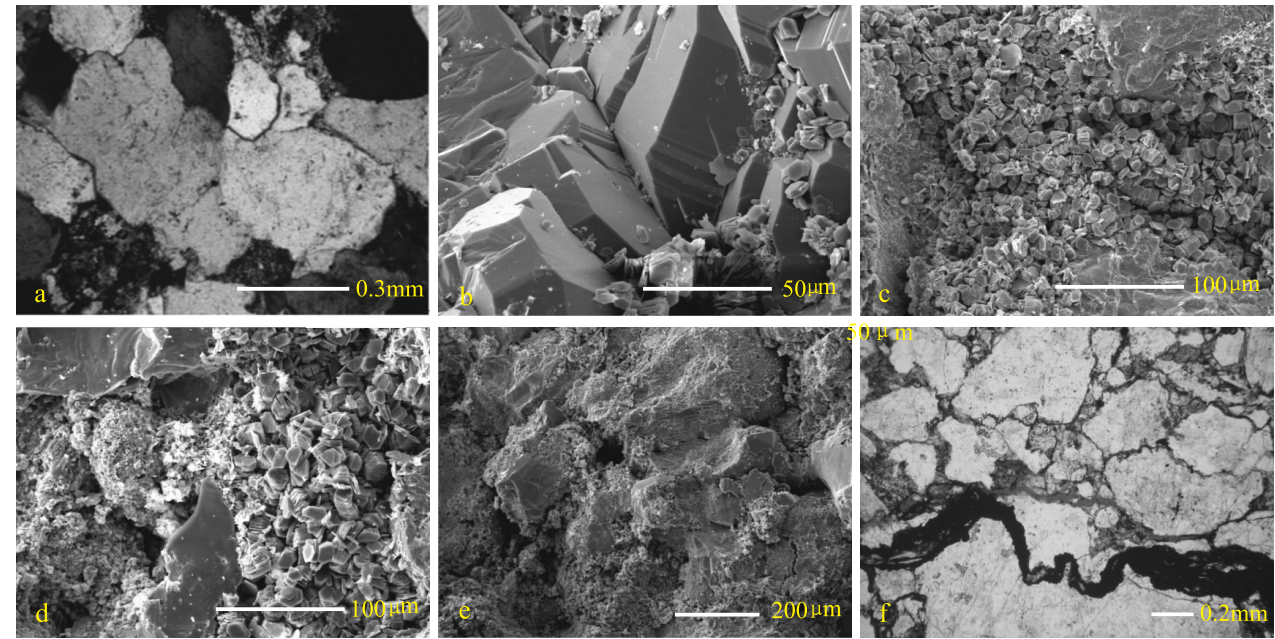


图 6 珠江组砂岩储层成岩特征

a. 中粒石英砂岩(铸体),颗粒呈压嵌式接触,3744.12m; b. 石英次生加大Ⅲ级,3748.12m; c. 次生高岭石胶结物堵塞粒间孔隙,3743.28m;

d. 粒间六方板状高岭石充填,3753.28m;e. 全貌,表面溶蚀作用较发育,孔隙连通性较好,粒间孔隙 20~50μm,3744.28m;f. 破裂缝,3745.87m

Fig. 6 Diagenetic characteristics of the continental shelf margin delta front sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation

展并占据部分粒间孔隙(图 6b、c),影响了孔隙度;(3)次生粘土矿物以高岭石和伊蒙混层为主,高岭石呈假六方柱和书页状松散充填粒间孔和粒间溶孔,对孔隙有较强的堵塞作用(图 6d)。次生伊利石含量相对较少,常呈平行片状、卷片状附着于粒间孔的颗粒表面,形成伊利石膜,从而大幅度地降低储层的渗透性。因此,较低含量的次生粘土矿物可形成较强的水敏性和速敏性,从而对储层物性产生较大影响^[1]。

3.2.2 建设性成岩作用对储层的影响

建设性成岩作用主要有溶蚀作用(图 6e)和破裂作用(图 6f)两种类型。随着埋深加大,早成岩作用 A 期,有机质发生脱羟基作用产生酸性溶液,对不稳定硅酸盐矿物有较强的溶蚀作用,形成众多的粒间孔、铸模孔等;早成岩阶段 B 期,受差异压实和有机酸热液溶蚀作用影响,形成较连续呈网状分布的裂缝。裂缝在有机酸热液溶蚀下进一步形成粒间溶缝,对改善储层的孔渗性有重要意义。

4 结论

(1)白云凹陷北坡珠江组陆架边缘三角洲前缘砂体岩性为岩屑砂岩,碎屑分选性中等-差,磨圆度以次棱角状为主。接触类型为孔隙式-接触式胶结,具有低成分成熟度、低结构成熟度的特点,是典型的近源陆架边缘三角洲前缘沉积。

(2)储层储集空间以次生粒间孔为主,其次为剩余原生粒间孔、粒内溶孔和铸模孔。储层物性和孔隙结构均较差,总体上表现为中低孔-中低渗的特征。

(3)储层发育受沉积环境和成岩作用等多种因素复合控制,沉积相控制了砂体分布及其岩性特征。三角洲前缘的水下分流河道微相为最有利储层发育的相带,其次为三角洲前缘河口坝微相,前缘席状砂微相储层条件较差或不能形成有效储层。成岩作用对储层储集性有双重效应,以机械压实作用和胶结作用为主的破坏性成岩作用降低了储层孔渗性,溶蚀作用则使储层物性明显改善。

参考文献:

[1] 郑荣才,马奇科,杨宝泉,等.白云凹陷珠江组深水扇砂岩储层特征及控制因素[J].成都理工大学学报(自然科学版),2012,

39(5):455-462.

[2] 代一丁,庞雄.珠江口盆地珠二坳陷石油地质特征[J].中国海上油气地质,1999,13(3):169-173.

[3] 刘惟庆,吴伟,秦成岗,等.基于扫描电镜的砂岩储层分析—以白云凹陷珠江组三角洲前缘砂体为例[J],电子显微学报,2014,33(2):23-28.

[4] 王永凤,王英民,李冬,等.珠江口盆地储层特征[J].石油地球物理勘探[J].2011,46(6):952-960.

[5] 郑荣才,李云,戴朝成,等.白云凹陷珠江组深水扇砂质碎屑流沉积学特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(6):1581-1589.

[6] 张忠涛,秦成岗,高鹏,等.珠江口盆地白云凹陷北坡陆架坡折带地质特征及其油气勘探潜力[J].天然气工业,2011,31(5):39-44.

[7] 吴伟,郑伟,刘惟庆,等.珠江口盆地白云北坡韩江组层序格架及富砂沉积体研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2013,37(3):23-29.

[8] 王永凤,王英民,李冬,等.陆架边缘三角洲沉积特征研究及其油气意义[J].海洋地质前缘,2011,27(7):28-33.

[9] 秦成岗,施和生,张忠涛,等.珠江口盆地番禺低隆起-白云凹陷北坡 SQ21.0 层序陆架坡折带沉积特征及油气勘探潜力[J].中国海上油气,2011,23(1):11-18.

[10] 徐强,王英民,王丹,等.南海白云凹陷深水区渐新世-中新世断阶陆架坡折沉积过程响应[J].沉积学报,2010,28(5):906-916.

[11] 谢利华,张博,秦成岗,等.陆架坡折盆地强制海退及正常海退沉积:以珠江口盆地珠江组-韩江组为例[J].沉积学报,2009,27(6):1093-1100.

[12] 易雪斐,张昌民,李少华,等.珠江口盆地白云凹陷北坡新近系层序构型及油气有利区[J].石油与天然气地质,2013,34(2):197-201.

[13] 谢武仁,邓宏文,王洪亮,等.渤中坳陷古今系储层特征及其控制因素[J].沉积与特提斯地质,2008,28(3):101-107.

[14] 谢利华,林畅松,董伟,等.珠江口盆地番禺低隆起珠江组-韩江组高精度层序地层[J].中国地质,2009,36(2):366-377.

[15] 庞雄,陈长民,施和生,等.相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应[J].地学前缘,2005,12(3):167-177.

[16] 庞雄,陈长民,彭大均,等.南海珠江深水扇系统的层序地层学研究[J].地学前缘,2007,14(1):220-229.

[17] 肖晓光,李群.鄂尔多斯盆地直罗油田长 8 油层组储层特征研究[J].中国地质,2014,41(1):187-196.

[18] 魏钦廉,郑荣才,肖玲,等.鄂尔多斯盆地吴旗地区长 6 储层特征及影响因素分析[J].岩性油气藏,2007,19(4):45-50.

[19] 王峰,田景春,陈蓉,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界盒 8 储层特征及控制因素分析[J].沉积学报,2009,27(2):238-245.

[20] 杨凡.准噶尔盆地四棵树凹陷古今系一新近系储层特征研究[J].沉积与特提斯地质,2013,33(4):68-73.

Continental shelf margin delta front sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation, northern Baiyun depression, Zhujiangkou Basin: Characteristics and controlling factors

LIU Wei-qing¹, WU Wei¹, LIN Chang-song², QIN Cheng-gang³, SHU Liang-feng³, WANG Yu-han¹

(1. School of Resources and Environments, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, Henan, China; 2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Research Institute, Shenzhen Branch, CNOOC, Guangzhou 510240, Guangdong, China)

Abstract: The characteristics and controlling factors are dealt with on the basis of thin section identification, scanning electron photomicrographs, mercury injection experiment and physical properties of the continental shelf margin delta front sandstone reservoirs in the Zhujiang Formation, northern Baiyun depression, Zhujiangkou Basin. The sandstone reservoirs dominated by grey medium- to fine-grained lithic sandstones are characterized by relatively low compositional and textural maturity, abundant secondary porosities with minor amount of residural primary intergranular porosity and primary porosity, relatively higher driving pressures and coordination numbers, relatively smaller pore throat sizes and poor sorting, and thus interpreted as the reservoir rocks with the medium to low porosity and medium to low permeability. The sandstone reservoirs are primarily constrained by sedimentary facies and diagenesis. The delta front subaqueous distributary channel microfacies is believed to be most favourable facies zone for the development of the sandstone reservoirs, followed by the delta front channel mouth bar microfacies. The destructive diagenesis such as mechanical compaction and cementation may reduce the porosity and permeability while the constructive diagenesis such as dissolution and cracking may facilitate the improvement of the porosity and permeability of the sandstone reservoirs.

Key words: continental shelf margin delta front; sandstone reservoir; diagenesis; Zhujiang Formation; Zhujiangkou Basin