

苏大鹏, 贺静, 闫琢玉, 等. 西沙石岛西科 1 井深层致密白云岩岩相学特征再研究[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(6): 55-63.

# 西沙石岛西科 1 井深层致密白云岩岩相学特征再研究

苏大鹏<sup>1</sup>, 贺静<sup>2</sup>, 闫琢玉<sup>3</sup>, 沈江远<sup>4,5</sup>, 马骁<sup>1,6</sup>, 付和平<sup>1,6</sup>,  
李绪深<sup>7</sup>, 张道军<sup>7</sup>, 刘新宇<sup>7</sup>, 董刚<sup>1</sup>, 闫桂京<sup>1</sup>, 许红<sup>1,4\*</sup>

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 西安 710018; 3 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 湛江 524057; 4 自然资源部第一海洋研究所, 青岛 266061; 5 长江大学, 武汉 430100; 6 中国石油大学(华东), 青岛 266580; 7 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057)

**摘要:** 石岛致密白云岩-铁白云岩发现 6 年, 再研究聚焦于岩相学特征。针对西科 1 井致密白云岩层段完成最新采样, 开展系统常规岩石薄片磨制和偏光显微镜和扫描电镜鉴定, 提供了系列照片和鉴定分析的认识。确定偏光显微镜下深层白云岩岩相学显微特征, 揭示了微晶-细晶-凝块泥晶白云石构成致密藻礁白云岩的特征, 它们发育粉晶-细晶、凝块、生物结构。细晶白云石自形-半自形, 雾心亮边, 0.05~0.25 mm, 多世代特征; 生物碎屑是珊瑚藻和仙掌藻白云岩, 2~3 mm, 部分 3~5 mm, 少部分 5~10 mm, 生物体内部白云石多粉晶, 生长或充填于生屑孔隙, 藻体中白云石不规则状, 0.3~0.5 mm, 星散状、镶嵌状白云石包体, 涉不透明矿物; 发现块状、不规则状凝块泥晶白云石, 部分凝块聚集在一起, 凝块内部主要充填泥晶白云石和少量有机质, 发育隐晶结构。多个深度白云石含量 90%~95% 或 95%~100%, 镜下无色, 有时呈浑浊的灰色, 闪突起显著, 完全解理, 高级白干涉色; 部分含 5%~10% 细晶方解石, 半自形, 0.05~0.25 mm, 星散状分布在白云石之间; 粉晶方解石自形-半自形粒状, 0.01~0.05 mm, 镶嵌状分布于生屑边部或充填在生屑内部孔隙中; 扫描电镜系统分析主要是针对致密白云岩样品进行, 选取典型照片分析了白云石颗粒特征和充填特征, 发现 2 类不同的充填样式, 一种是细晶白云石间孔缝中的泥晶类充填露头, 另一类是细晶白云石上泥晶类面积覆盖。

**关键词:** 致密白云石显微特征; 泥晶-微晶-细晶结构; 致密藻礁白云岩; 西科 1 井

中图分类号: P744.4; P586

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.036

## 0 引言

众所周知, 白云岩是优良的油气储集层<sup>[1]</sup>。在国内外大量白云岩研究科技文献中, 相关研究大量报道了白云岩的优质储集性能; 且随着油气勘探的不断深入, 深埋藏条件下的古老层系白云岩已成为我国陆域, 塔里木盆地、四川盆地等下古生界白云岩储层重要增储上产油气勘探目的层系, 孔渗层储

集性能特征成为勘探开发重要的研究对象<sup>[2-7]</sup>。

在南海, 生物礁油气田全部发现于 20 世纪 80 年代, 我国珠江口盆地 8 个生物礁油气田也是那个年代的发现<sup>[8]</sup>, 却至今再也没有新的发现, 相关研究证实它们属于礁白云岩<sup>[9-10]</sup>。在这些陆上白云岩油气田一个共同的特征, 就是地质年代久远和埋藏深度巨大, 并且富含深层天然气, 形成超大规模天然气田。事实上, 油气勘探同行不乏针对白云岩储层储集空间、孔隙演化与成因特征的研究<sup>[1-7]</sup>。但却与本文西沙群岛深层致密白云岩实例研究发现相悖, 事实上, 本文深入讨论的是生物礁白云岩盖层, 而非生物礁白云岩储层, 理清和认识这种致密白云岩与常规白云岩的不同, 显然具有重要的理论实际意义。

朱淑英等<sup>[11]</sup>将岩石介孔率 > 50% 的碳酸盐岩储层定义为非常规致密储层(利用低温氮气吸附法

收稿日期: 2021-02-16

资助项目: 油气重大专项(2011ZX05025-002-04); 国家自然科学基金(41872114); 国家科技基础资源调查专项课题(2017FY201407, DMSM2018030)

作者简介: 苏大鹏(1977—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事海洋地质方面的研究工作. E-mail: wlmz\_008@sina.com

\* 通讯作者: 许红(1957—), 男, 博士, 研究员, 主要从事油气地质调查与资源勘探评价及海洋生物礁成因研究工作. E-mail: xuhong8320@163.com

检测孔径 $<2\text{ nm}$ 的微孔和孔径为 $2\sim 50\text{ nm}$ 的介孔);熊金玉等(2015)<sup>[12]</sup>,王海生(2016)<sup>[13]</sup>讨论了湖相碳酸盐岩致密油储层微观机理及特征,将整体为纳米—微米孔喉系统,孔喉平均配位数3.6,空间连通性较差—中等的储层定义为致密储层;魏新善<sup>[14]</sup>等研究了鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部奥陶系马家沟组致密碳酸盐岩储集特征,提出致密碳酸盐岩储集层为孔隙度 $<2\%$ ,渗透率 $<0.1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的储集体。也就是说,所谓致密碳酸盐岩储层定义,主要来源于根据所在研究区致密碳酸盐岩储层的研究,低孔低渗是显著特征,孔径多以微孔介孔为主;包括泥晶白云岩<sup>[11]</sup>;但是,并未包括白云岩。

关键在于白云岩,从灰岩到白云岩,白云石走完了结晶的过程,形成白云石的结果是孔隙度增加 $12.9\%$ <sup>[1]</sup>,是教科书认定的经典。因此,白云岩被誉为天生油气储层。在西沙群岛研究区,前人针对西琛1井生物礁白云岩及其储油气物性研究超过30年<sup>[8-10,15]</sup>,证实西琛1井生物礁白云岩全部属于优质油气储层,但未发现致密白云岩。针对西科1井的研究目前还仅仅只有8年,系统研究发现大量白云岩,总结阐明了白云岩的孔渗层特征<sup>[16-17]</sup>,并对750 m以浅白云岩岩相学、地化特征及成因完成了分析<sup>[18-21]</sup>,但文献较少涉及千米以深地层。

## 1 材料与方 法

本文研究样品来自西科1井,许红等前期系统研究了致密白云岩层段多种岩石薄片,涉及偏光显微镜鉴定分析技术,含染色片,铸体片合计33片;本次研究再次采样56块,采用莱兹Orthoplan-POL偏光显微镜,拍摄在中国石油长庆油田公司勘探开发研究院完成;本文研究涉及这2个阶段部分薄片,鉴定分析在青岛海洋地质研究所完成。

本次测试采用青岛海洋地质研究所电子扫描电镜系S-4800型,最大放大倍数 $12\times 10^3$ 倍,最小分辨率 $1\mu\text{m}$ 。测试保证扫描电镜测试需要的真空洁净条件,对岩石样品进行预处理实验步骤如下:第1步,将岩心样品破碎,取直径约为 $2\text{ mm}$ 的具有本次岩石特征的样品碎片,等待处理;第2步,将样品放置于温度约为 $60\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 的环境下,蒸发掉岩石孔隙的流体,待用;第3步,将取得的样品用镊子放在贴有导电胶的载物台上,放入金属电镀仪中进行喷金处理,使其具有良好的导电性;第4步,将镀金的样品放入扫描电镜中进行观察。

## 2 结 果

### 2.1 致密白云岩不同白云石的岩相学特征

镜下鉴定选择典型致密白云岩,分类研究致密白云岩-铁白云岩白云石特征,发现显微结构分3类:一类为残留原始沉积孔隙结构白云石,另一类以细晶结构为代表白云石,还有一类原始结构无法识别白云石(凝块泥晶白云石)。对于保留或残余原始结构白云石根据颗粒/骨架与胶结物可识别性和颗粒生物内部结构保存程度及含量进行分类<sup>[20-21]</sup>;对充填在孔隙裂缝、生物体中粉晶—细晶白云石,凝块状隐晶泥晶白云石进行了研究,结果叙述如下。

#### 2.1.1 残余颗粒白云岩

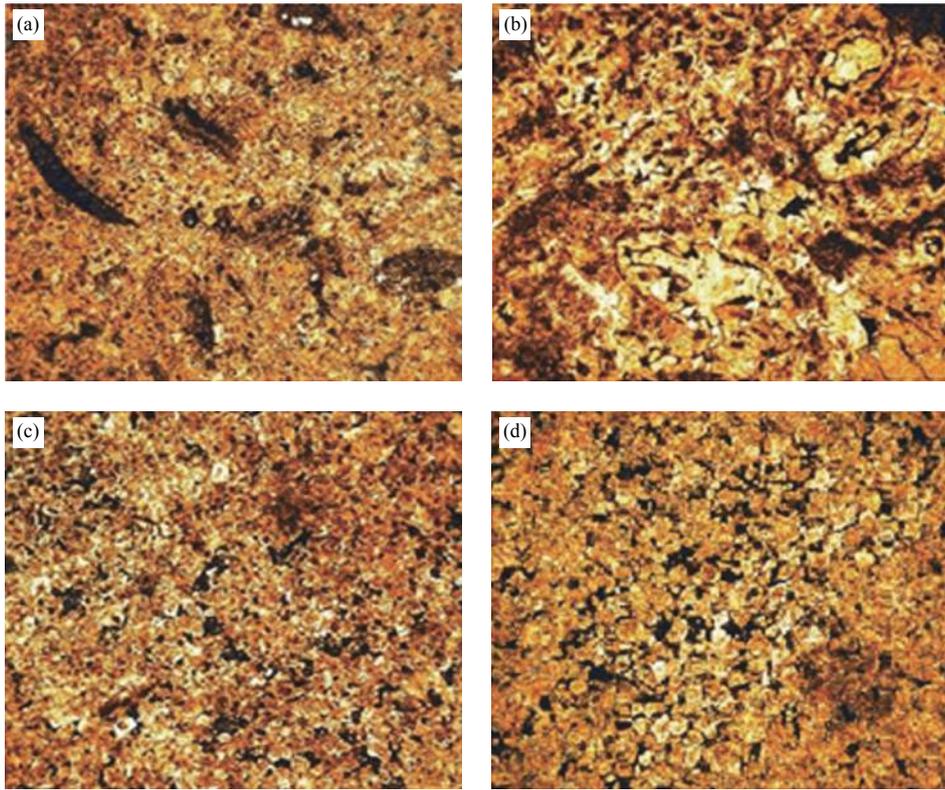
这类白云岩在整个研究层系较发育,对恢复古海洋环境具有意义。根据残余程度的不同以及残余生屑的含量进一步细分为:①泥晶白云岩,即完整保留原始结构的颗粒白云岩<sup>[22-24]</sup>;②残余粒型白云岩,即只是保留了原始颗粒的形态或轮廓,但其内部结构已经无法识别<sup>[25]</sup>。研究层段泥晶白云岩比较发育,常见的原始结构一般为生物碎屑,主要为钙藻类,其次为珊瑚类等;按照生物屑含量可进一步划分为生物碎屑白云岩(生物碎屑含量为 $25\%\sim 50\%$ )和含生物碎屑白云岩(生物碎屑含量为 $10\%\sim 25\%$ )(图1a、b)。

#### 2.1.2 晶粒白云岩

晶粒白云岩次发育。镜下观察该类白云石晶体多为粉晶到细晶级( $0.01\sim 0.25\text{ mm}$ ),具有较为平直的晶体边界,晶体多呈点或面接触,可见大量白云石的雾心亮边结构(图1c、d)。重要的是,大多晶粒白云岩以细晶白云石为主,孔渗性略好<sup>[22]</sup>,如图1d。以1045 m细晶白云岩为例(图2),白云石主半自形, $0.05\sim 0.25\text{ mm}$ ,镶嵌状分布,大量的雾心亮边,含量 $95\%\sim 100\%$ ;白云石光性特征:薄片无色,有时呈浑浊的灰色,闪突起显著,完全解理,高级白干涉色,白云石中包嵌较多包裹体,其中有不透明矿物、气液包体和其他矿物微晶包体;细晶方解石半自形粒状, $0.05\sim 0.25\text{ mm}$ ,星散状分布在白云石之间;含量 $2\%\sim 3\%$ ;生物屑 $2\%\sim 3\%$ (图2)。

#### 2.1.3 致密粉晶藻礁灰质白云岩

1149.92 m发现致密粉晶藻礁灰质白云岩。实测渗透率近于零,属于典型致密白云岩,生物格架



(a) 1 109.27 m, 生物碎屑白云岩, 原始颗粒及内部结构保存完好, 单偏光(4×), 可见孔隙较少, 泥晶—粉晶结构, 是致密白云岩代表;  
(b) 1 144.42 m, 残余珊瑚生物颗粒白云岩, 原始颗粒形态轮廓明显, 单偏光(4×);  
(c) 1 065 m 粉晶—细晶白云岩, 自形—半自形, 单偏光(4×);  
(d) 1 176.42 m, 细晶白云岩, 单偏光(4×);

图 1 研究区各类白云岩微观特征

Fig.1 Microscopic characteristics of various dolomites in the study area

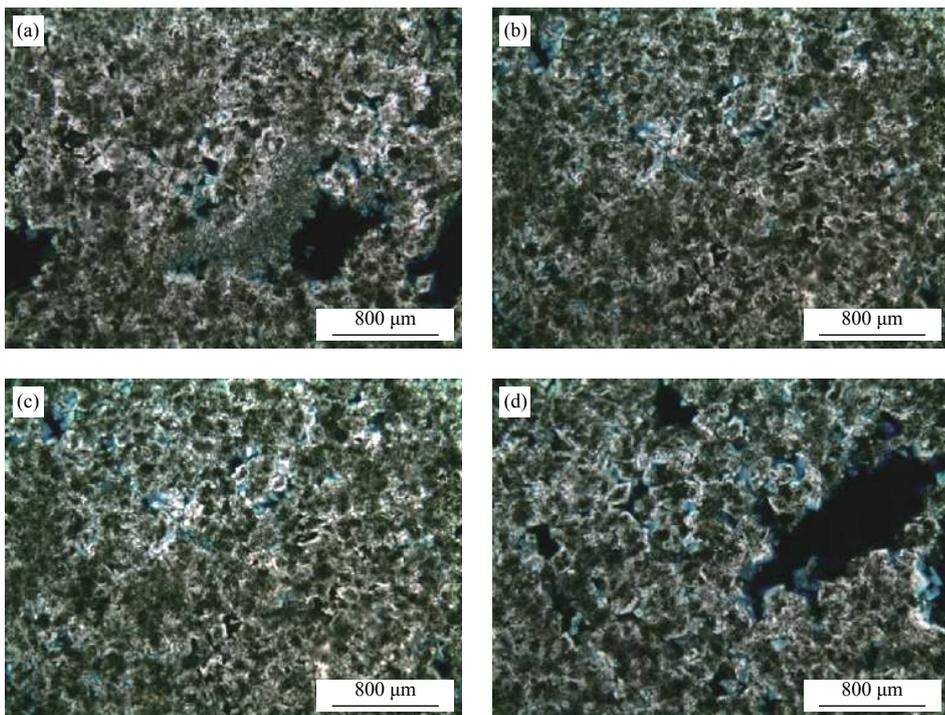
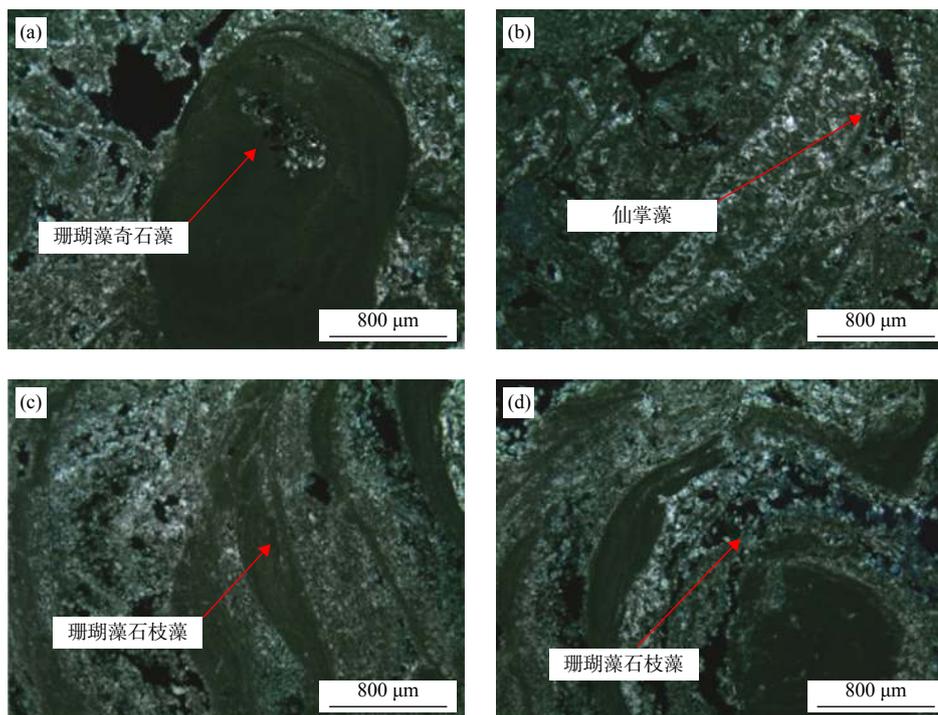


图 2 1 045 m 细晶白云岩, 单偏光, 800 μm

Fig.2 Fine grain dolomite of 1 045 m, unipolarized light, 800 μm

结构,由生物屑、亮晶胶结物组成。生物碎屑主要是钙藻,包括红藻珊瑚藻奇石藻属、石枝藻属,绿藻仙掌藻属(图3);二者化石罕见同现于同一块薄片,形状各异,珊瑚藻呈椭圆形,为奇石藻属(图3a)、不规则状、弯曲条带状和块状(图3c、d),它们分别属于格架类(图3a)和粘结类(图3c、d)2类珊瑚藻;仙掌藻长条状及不规则碎屑状(图3b);各种藻体基本完整;大小一般2~3 mm,部分3~5 mm,少部分5~

10 mm。亮晶胶结物为粉晶白云石、方解石,粉晶白云石自形一半自形,大小一般0.01~0.05 mm,镶嵌状分布,沿生屑边部生长或充填在生屑内部的孔隙中;白云石中包嵌较多包裹体,其中有不透明矿物、气液包体和其它矿物微晶包体,含量65%~70%;方解石自形一半自形粒状,0.01~0.05 mm,镶嵌状沿生屑边部生长或充填在生屑内部的孔隙中;含量30%~35%。



(a)珊瑚藻呈椭圆形,为奇石藻属;(b)呈长条状及不规则碎屑状,为仙掌藻属;(c)、(d)珊瑚藻呈不规则状、弯曲条带状和块状,为珊瑚藻石枝藻

图3 致密粉晶藻礁灰质白云岩,典型生物格架结构,粉晶结构

Fig.3 Density-forming powdery algal calcareous dolomite, typical biological lattice structure, powdery structure

#### 2.1.4 致密凝块泥晶细晶白云岩

发现与1164.64 m致密细晶雾心亮边白云石和凝块泥晶白云石,主要由生物碎屑、细晶白云石、凝块泥晶白云石和细晶方解石组成。生物碎屑不规则状,0.3~0.5 mm,星散状分布;细晶白云石半自形、不规则状(图4、5),0.05~0.25 mm,镶嵌状分布;凝块泥晶白云石隐晶结构(图4、5a、5b),雾心亮边(含凝块)突出(图4、5c、5d);白云石光性特征:薄片无色,有时呈浑浊的灰色,闪突起显著,完全解理,高级白干涉色;细晶方解石半自形粒状,0.05~0.25 mm,星散状分布在白云石之间;凝块状泥晶白云石多呈不规则状(图5a),块状(图4、5b),0.05~0.1 mm,部分凝块聚集在一起(图5a),凝块内部主要是泥晶白云石和少量有机

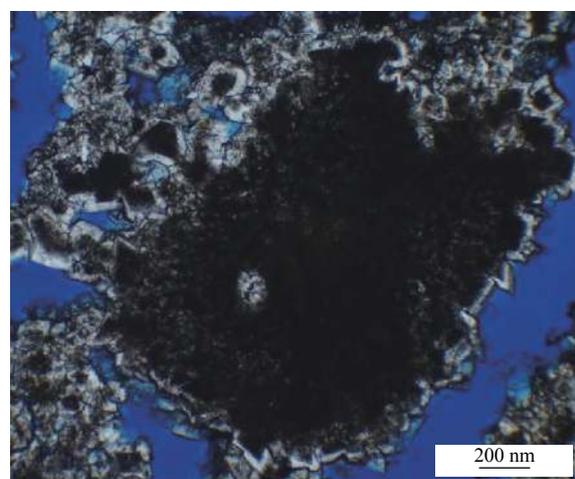
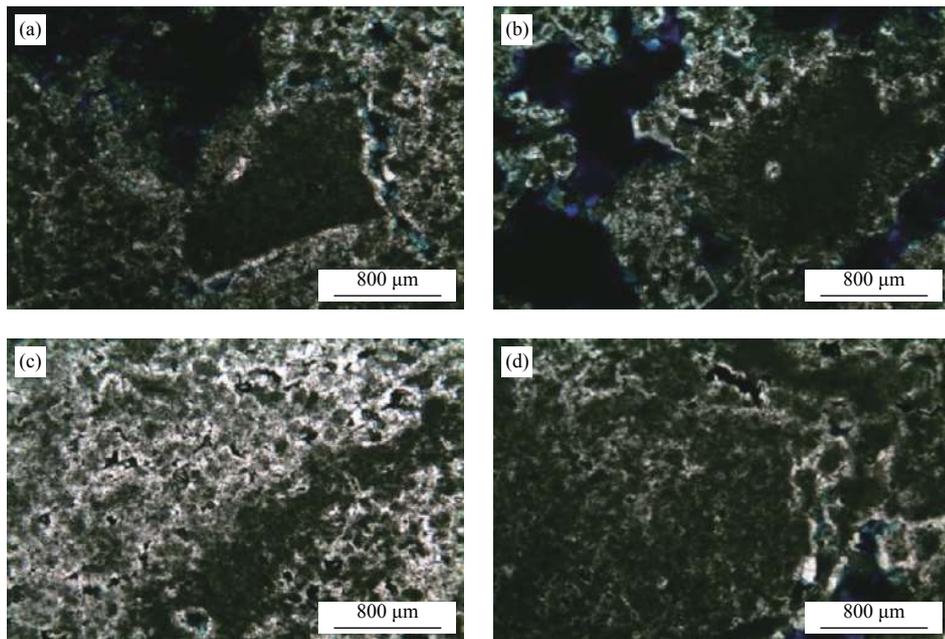


图4 细晶雾心亮边白云石和凝块泥晶白云石

Fig.4 Fine crystal mist core bright edge dolomite and clotted micritic dolomite



(a) 呈不规则状的凝块泥晶白云石; (b) 呈块状的凝块泥晶白云石; (c)、(d) 雾心亮边突出的凝块泥晶白云石

图 5 雾心亮边凝块泥晶—细晶白云岩

Fig.5 Mist core bright edge coagulated micrite - fine grained dolomite

质; 细晶白云石含量 60%~65%, 凝块泥晶白云石含量 30%±, 细晶—凝块结构; 细晶方解石 5%±, 方解石含量 5%~10%。定名为致密凝块泥晶—细晶白云岩。

## 2.2 白云岩内部充填物特征

首先, 利用缩微孔渗性测试装置<sup>[23]</sup>完成系统白云岩岩心测试<sup>[17, 22]</sup>, 发现孔渗层孔渗性是变化的, 在 27 个样品中有 19 个渗透率为零<sup>[22]</sup>, 其他也极低; 定为致密白云岩。本次研究选取典型的 1 119.42~1 168 m 6 个深度样品完成扫描电镜分析(图 5a—5f), 结果如下。

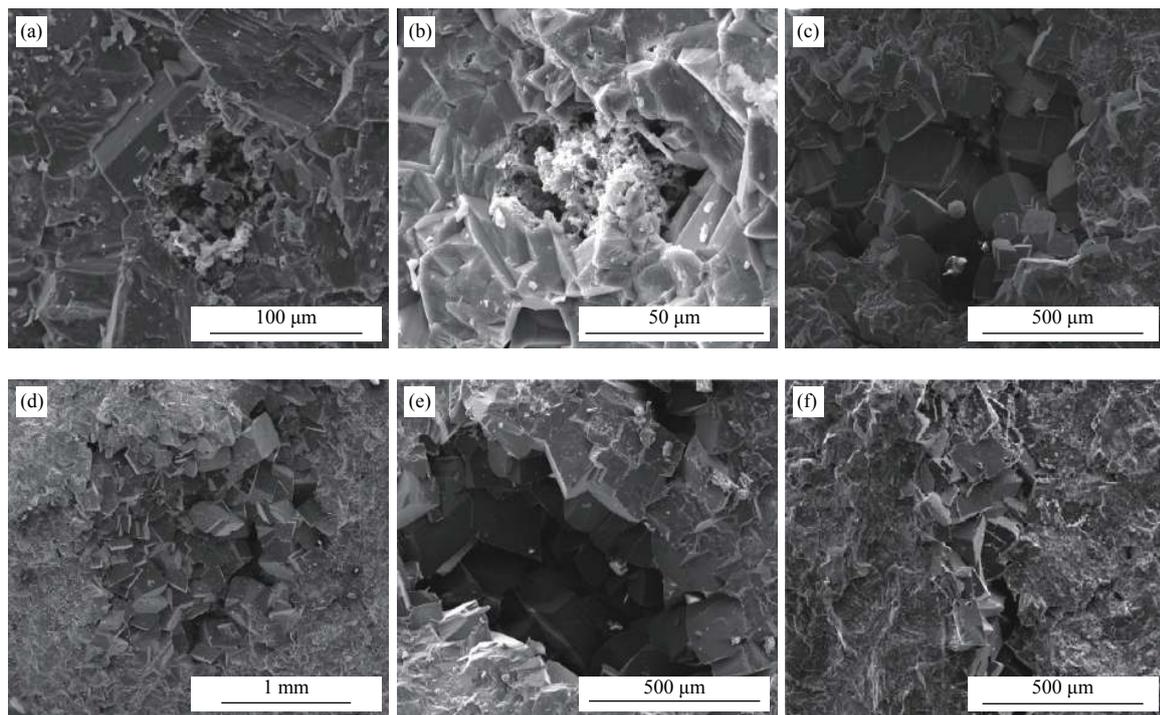
这里的充填物是指围绕白云岩孔洞或裂缝内壁生长白云石、方解石(?), 可区分为泥晶、粉晶、微晶和细晶白云石。泥晶—粉晶半自形—自形, 晶形晶体晶形较差白云石多为它形。相邻晶粒外形互补, 呈复杂的曲面接触(图 6a、6b), 或为其次不同充填物, 包括方解石; 细晶或粉晶自形—半自形白云石通常作为孔洞或裂缝的充填物, 附着前一代细晶白云石内壁生长, 多以泥晶为主, 少量粉晶; 面向孔洞或裂缝中心方向晶体变大则自形程度变好, 发育平直的晶面边界, 晶体间多以点接触或面接触, 面接触少见(图 6c—6f), 并且恰好相反, 是泥晶颗粒围限于周缘, 细晶白云石位于空隙或充填于其中, 表明不同的成因特征和机制。

## 3 讨论

本文主要针对西科 1 井新近发现致密白云岩和铁白云岩微观特征进行岩相学分析。国内关于致密白云岩研究不多, 对于其显微特征研究较为薄弱, 笔者尝试对西科 1 井致密白云岩开展显微特征研究, 还存在以下问题。

目前白云岩的成因问题在地质学界一直存在争论, 其白云岩化作用也是地质学研究热点。白云岩多是次生成因的, 白云石的活性较方解石差, 孔隙度随深度的变化较小, 因此白云岩往往能形成良好的储层, 由于白云岩成因而于碳酸盐岩方解石的钙镁离子复杂交换过程, 实验室认定这个过程矿物结晶的结果致孔隙度增加 12.9%, 这是教科书的经典内容<sup>[1]</sup>。但事实上, 本文岩心实测数据发现有悖于这个结论, 也是西沙群岛多年白云岩研究的一次特殊经历。关键在于从重要的油气储层到可作为油气盖层, 这个转换变化的实际理论意义值得重视。

研究层位位于深层, 这在西沙群岛全部科探井中得天独厚, 其余钻井都有“无米之炊”问题, 因为所有其他 5 口科探井深度都浅于西科 1 井。因此, 西科 1 井千米以深的这些岩心样品异常珍贵, 属于深层致密白云岩-铁白云岩研究的唯一实物样品, 具有重要价值。



(a) 1 119.42 m 泥晶—粉晶半自形—它形白云石充填物; (b) 1 104.6 m 泥晶—粉晶它形白云石充填物, 孔隙中见黑点斑状氧化锰; (c) 1 112.8 m 细晶自形—半自形白云石充填物, 白云石晶间见球状软锰矿, 白云石颗粒点接触; (d) 1 127.22 m 周缘泥晶白云石, 中为细晶自形—半自形白云石, 白云石颗粒面接触; (e) 1 133.27 m 细晶自形白云石颗粒, 白云石颗粒点接触; (f) 1 168 m 裂缝充填粉晶—细晶白云石, 白云石自形程度好, 白云石颗粒面接触

图6 白云岩充填物微观特征

Fig.6 Microcosmic characteristics of dolomite fillings

白云岩的显微特征和岩相学分析是本文研究的基础, 部分印证了前人相关的认识<sup>[17, 22]</sup>, 但又与其不同, 本文对应前人测试孔渗层为零或接近于零数据的数十个深度<sup>[22]</sup>进行专门采样和详尽测试、分析讨论这几个极低孔渗层的显微特征, 发现了几种白云石显微岩相学特征和 2 种充填类型; 结果显然是两相对应与证明致密性成因特征一致性的关键证据(表 1)。但是, 文献 [22] 与本文的研究都是基于文献 [17] 的测试数据, 由表 1 的数据可以很明显的看到, 西琛 1 井这一段岩心样品的孔隙度最小为 9.5%, 最大的可以达到 47.4%, 其平均孔隙度为 29.4%, 渗透率差值较大, 此段岩心资料的的孔隙度和渗透率均呈时高时低的交替性变化, 孔隙度与渗透率则基本呈正比关系。从数据上看, 这一部分岩心可以具有极好的储层孔渗性; 从西科 1 井孔渗性测试结果发现孔隙度、渗透率都较差。最小孔隙度 1.7%, 最大孔隙度 12.9%, 平均孔隙度 5.9%; 大部分样品渗透率为零或数据较低。

该测试数据又来源于一个国家发明专利<sup>[23]</sup>, 该专利的精髓是, 可以最大限度使用最小尺寸的岩心样品, 因为常规物性测试要求的岩心直径是

2.5 cm, 本次测试样品直径却只有 1 cm 直径样品, 这样小的样品直径结果可信吗? 显然可信度值得提问。还存在另一个问题, 即碳酸盐岩的非均质性特征, 在这么大的深度区间, 孔渗性也可以是非均质的, 从这个角度质疑结果的可信度也是对的。因此, 作者认可需要同样深度同样样品与大尺寸样品及其工业标准的测试仪器, 通过背靠背验证性测试, 才可最终确认本次研究结果无误, 这才是本文的目的。

殊途同归, 也才值得针对它们开展深层次致密白云岩化作用及其机制机理和模式的研究。

## 4 结论

(1) 西科 1 井深层白云岩岩相学显微特征以微晶—细晶、凝块泥晶和致密藻礁白云岩及其发育的粉晶—细晶、凝块、生物结构为标志; 存在微晶—粉晶—细晶白云石, 部分层系见凝块泥晶白云石, 形成微晶、粉晶、细晶结构和凝块泥晶白云石隐晶结构; 属于不同的致密白云岩。

(2) 发现藻礁致密白云岩, 属于珊瑚红藻格

表 1 西琛 1 井、西科 1 井岩心样品孔隙度、渗透率测试数据表<sup>[17, 25]</sup>Table 1 Porosity and permeability test data of core samples from well Xichen 1 and well Xike 1<sup>[17, 25]</sup>

样品编号	取样深度/m	颗粒密度/(g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度/%	渗透率/( $\times 10^{-3}$ $\mu\text{m}^2$ )	备注	样品来源
xc-1-5	390.90	2.73	16.2	0.203	切平	西琛1井
xc-1-7	402.00	2.77	38.2	1 681	切平	西琛1井
xc-1-6	406.10	2.80	46.1	1 792	切平	西琛1井
xc-1-8	416.50	2.80	27.9	978	切平	西琛1井
xc-1-9	421.10	2.82	47.4	2 641	切平	西琛1井
xc-1-9-1	429.50	2.81	38.2	1 614	切平	西琛1井
xc-1-9-2	431.50	2.80	29.5	764	切平	西琛1井
xc-1-10	434.70	2.82	40.5	115	切平	西琛1井
xc-1-11	440.30	2.82	41.4	1 139	切平	西琛1井
xc-1-11-1	443.10	2.78	36.4	1 721	切平	西琛1井
xc-1-12	447.90	2.77	24.7	9.96	切平	西琛1井
xc-1-12-0	456.90	2.70	15.9	0.072 7	切平	西琛1井
xc-1-12-0-1	457.80	2.79	14.9	0.248	切平	西琛1井
xc-1-12-1	459.10	2.70	11.6	0.333	切平	西琛1井
xc-1-12-2	460.95	2.77	17.8	3.91	切平	西琛1井
xc-1-13	476.00	2.68	9.5	0.036 6	切平	西琛1井
xc-1-14	479.80	2.79	17.0	581	切平	西琛1井
xc-1-16	501.10	2.78	33.6	3 581	切平	西琛1井
xc-1-18	514.00	2.77	19.0	422	切平	西琛1井
xc-1-19	523.70	2.78	20.8	1.03	切平	西琛1井
20	1 045.00	2.63	4.3	-	切平	西科1井
21	1 050.46	2.45	13.7	117.8	切平	西科1井
23	1 065.00	2.68	4.7	-	切平	西科1井
24	1 076.68	2.74	2.4	-	切平	西科1井
25	1 086.50	2.38	16.4	389.7	切平	西科1井
26	1 089.45	2.40	15.4	253.6	切平	西科1井
28	1 100.49	2.48	12.9	0.082	切平	西科1井
29	1 109.27	2.67	5.5	-	切平	西科1井
30	1 111.60	2.64	5.4	-	切平	西科1井
31	1 112.90	2.69	2.7	-	切平	西科1井
32	1 117.32	2.59	8.5	-	切平	西科1井
33	1 119.90	2.59	5.6	-	切平	西科1井
34	1 123.80	2.56	6.3	-	切平	西科1井
35	1 121.72	2.68	2.6	-	切平	西科1井
36	1 128.62	2.59	7.6	0.032	切平	西科1井
37	1 138.22	2.55	5.4	-	切平	西科1井
38	1 139.00	2.64	1.7	-	切平	西科1井
39	1 141.42	2.50	8.2	-	切平	西科1井
40	1 144.42	2.59	3.8	-	切平	西科1井
41	1 146.32	2.52	9.0	-	切平	西科1井
42	1 147.6	2.58	5.8	-	切平	西科1井
44	1 149.92	2.50	6.1	-	切平	西科1井
b-1	1 153.56	2.69	5.4	<0.050	切平	西科1井
b-2	1 158.11	2.71	4.7	<0.050	切平	西科1井
b-3	1 160.57	2.75	3.2	<0.050	切平	西科1井
45	1 167.50	2.49	5.8	-	切平	西科1井
46	1 173.20	2.51	7.4	-	切平	西科1井

架珊瑚藻和石枝珊瑚藻,也存在绿藻仙人掌藻;藻体体内部白云石多粉晶,生长或充填于生屑孔隙之中,藻体中白云石不规则状,存在星散状、镶嵌状白云石包体,涉不透明矿物;形成藻礁致密白云岩。

(3)发现凝块块状、不规则状凝块泥晶白云石,部分凝块聚集在一起,凝块内部主要充填泥晶白云石和少量有机质,隐晶结构。

(4)扫描电镜分析发现2类不同的充填样式,一种是细晶白云石间孔隙中的泥晶类充填露头,另一类是细晶白云石上泥晶类面积覆盖。它们可能代表了2类充填样式,或属于致密白云岩形成的过程和结果。

#### 参考文献:

- [1] 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社,1980.
- [2] 李鹏飞,李建明,斯尚华,等. 中扬子西部上震旦统灯影组碳酸盐岩储层特征[J]. 岩性油气藏,2010,22(2):37-41.
- [3] 倪新锋,陈永权,米永进,等. 塔北地区寒武纪深层白云岩构造-岩相古地理特征及勘探方向[J]. 岩性油气藏,2015,27(5):135-143.
- [4] 黄擎宇,刘伟,张艳秋,等. 白云石化作用及白云岩储层研究进展[J]. 地球科学进展,2015,30(5):539-551.
- [5] 刘诗宇,胡明毅,胡忠贵,等. 四川盆地东部石炭系黄龙组白云岩成因[J]. 岩性油气藏,2015,27(4):40-46.
- [6] 许红,王修齐,张健,等. 四川盆地震旦系勘探突破与绵阳-长宁拉张槽的特征及对于下扬子区的意义[J]. 海洋地质前沿,2016,32(3):1-6.
- [7] 王修齐,许红,宋家荣,等. 高石梯-龙王庙大气田发现与四川盆地震旦-寒武系油气地质特征及成藏[J]. 海洋地质前沿,2016,32(3):24-32.
- [8] 许红. 中国海域及邻区含油气盆地生物礁的对比研究[J]. 海洋地质与第四纪地质,1992,12(4):41-52.
- [9] 许红,王玉净. 西沙中新世生物地层与藻类的造礁作用和生物礁演变特征[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [10] 许红,张金川,蔡峰,等. 西沙群岛中新世生物礁矿物相研究及其意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1994,14(4):15-23.
- [11] 朱淑英,张滨峰,毕桂荣,等. 致密泥质白云岩孔隙分布研究[J]. 内蒙古石油化工,2014(4):130-131.
- [12] 熊金玉,李思田,唐玄,等. 湖相碳酸盐岩致密储层有机质赋存状态与孔隙演化微观机理[J]. 石油与天然气地质,2015,36(5):756-765.
- [13] 王海生. 雷家地区湖相碳酸盐岩致密油储层微观特征[J]. 特种油气藏,2016,23(5):26-29.
- [14] 魏新善,陈洪德,张道峰,等. 致密碳酸盐岩储集层特征与天然气勘探潜力-以鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部奥陶系马家沟组为例[J]. 石油勘探与开发,2017,44(3):319-329.
- [15] 许红,张金川,蔡峰. 西沙群岛中新世生物礁矿物相研究及其意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1994,14(4):16-23.
- [16] 张道军,刘新宇,王亚辉,等. 西沙地区中新世以来碳酸盐岩的沉积演化及储层特征[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2015,40(4):606-614.
- [17] 许红. “十二五”油气重大科技专项《南海新生代生物礁储层对比研究》成果报告[R]. 青岛:青岛海洋地质研究所,2015.
- [18] 翟世奎,米立军,沈星,等. 西沙石岛生物礁的矿物组成及其环境指示意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2015,40(4):597-605.
- [19] 王振峰,时志强,张道军,等. 西沙地区西科1井中新统一上新统白云岩微观特征及成因[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2015,40(4):606-614.
- [20] 曹佳琪,张道军,翟世奎,等. 西沙群岛礁白云岩化特征与成因模式分析[J]. 海洋地质,2016,38(11):125-139.
- [21] 修淳,张道军,翟世奎,等. 西沙石岛礁相白云岩稀土元素地球化学特征及成岩环境分析[J]. 海洋通报,2017,36(2):151-159.
- [22] NA Q, XU H, SU D P, et al. Microscopic characteristics and geological significance of tight dolomite in well Xike-1, Xisha Islands, China[J]. China Geology, 2019, 2(4):458-466.
- [23] 许红,韩学辉,李峰弼,等. 一种基于缩微样品的生物礁岩心常规物性测试器装置:CN 106324217 A [P]. 2016.
- [24] XU Hong, ZHANG Weiwei, WEI Kai, et al. Ferroan dolomites in Miocene sediments of the Xisha Islands and their genetic model[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2018, 36(1):165-180.
- [25] 宋红瑛. 南海西部新近系生物礁碳酸盐岩孔渗层变化与成因特征研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.

## RESTDY ON PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF DEEP TIGHT DOLOMITE IN WELL XIKE 1 OF SHIDAO, XISHA ISLANDS

SU Dapeng<sup>1</sup>, HE Jing<sup>2</sup>, YAN Zhuoyu<sup>3</sup>, SHEN Jiangyuan<sup>4,5</sup>, MA Xiao<sup>1,6</sup>, FU Heping<sup>1,6</sup>, LI Xushen<sup>7</sup>,  
ZHANG Daojun<sup>7</sup>, LIU Xinyu<sup>7</sup>, DONG Gang<sup>1</sup>, YAN Guijing<sup>1</sup>, XU Hong<sup>1,4\*</sup>

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 2 Exploration and Development Research Institute of Petrochina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China; 3 CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Zhanjiang 524057, China; 4 First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 5 Changjiang University, Wuhan 430100, China; 6 China University of Petroleum(East China), Qingdao 266580, China; 7 Zhanjiang Branch of CNOOC (China) Ltd., Zhanjiang 524057, China)

**Abstract:** Six years after the discovery of tight dolomite and ferroan dolomite in Shidao island, further studies have focused on the petrographic characteristics. The latest sampling of the tight dolomite strata in well Xike 1 was completed, and the systematic routine rock slice grinding and polarizing microscope and scanning electron microscope identification were carried out, which provided a series of photos and understanding of identification analysis. The petrographic microscopic characteristics of deep dolomite under polarized light microscope were determined, and the characteristics of tight algal reef dolomite composed of microcrystallite-fine-crystallite-clotted micritic dolomite were revealed. They developed fine crystallite-fine-grained, clotted and biological structure. Fine grained dolomite idiomorphic to hypoidiomorphic, bright edge of fog center, 0.05~0.25 mm, multi-generation characteristics; The bioclasts are coralophyta and cellophyta dolomite, 2~3 mm, some 3~5 mm, a few 5~10 mm. The internal dolomite of the organism is mostly silt-crystal, growing or filling in the bioclastic pores. The dolomite in the algae is irregular, 0.3~0.5 mm, scattered and inlaid, involving opaque minerals. Massive and irregular clumps of micritic dolomite were found, and some clumps gathered together. The inside of the clumps was mainly filled with micritic dolomite and a small amount of organic matter, and cryptocrystalline structure was developed. Multiple depth dolomite content of 90%~95% or 95%~100%, under the mirror colorless, sometimes cloudy gray, flash prominent, complete cleavage, senior white interference color; Some of them contain 5%~10% fine crystalline calcite, semi-idiomorphic, 0.05~0.25 mm, scattered among dolomites. The silt-crystal calcite is idiomorphic to hemiidiomorphic granular, 0.01~0.05 mm, Mosaic distributed in the edge of the bioclasts or filled in the internal pores of the bioclasts; The scanning electron microscope (SEM) system analysis is mainly carried out on the tight dolomite samples, and the typical photos are selected to analyze the dolomite grain and filling characteristics. It is found that there are two kinds of filling styles, one is micrite filling outcrops in the pores and cracks between the fine-grained dolomite, the other is micrite area coverage on the fine-grained dolomite.

**Key words:** microscopic characteristics of tight dolomite; microcrystalline-microcrystallite-fine grain structure; tight algal reef dolomite; well Xike 1