

文章编号: 1000-0550(2012)01-0043-11

贵州紫云上石炭统叶状藻礁灰岩的成岩作用^①

孙宝亮¹ 巩恩普¹ 李金梅² 关长庆¹ 张永利¹

(1. 东北大学地质系 沈阳 110004; 2. 有色金属华东地质勘查局 南京 210007)

摘要 贵州紫云县猴场镇扁平村的上石炭统中的叶状藻礁及其周边灰岩中发育强烈的成岩作用和胶结物, 这些胶结物在猴场研究区内是显著的和有代表性的。通过观察、分析野外露头、光片、薄片、薄片的阴极发光和染色, 来研究礁体岩石的成岩作用, 确定了成岩作用序列、成岩环境、成岩阶段。成岩作用类型主要有泥晶化、溶蚀、胶结、新生变形、机械压实、剪切或高温重结晶、构造破裂作用等。早成岩阶段的成岩作用有轻微压实、溶蚀作用和在礁灰岩成岩过程中发挥了至关重要的作用的胶结作用。胶结作用提供了大量的微亮晶、斑块状亮晶方解石、放射纤维扇状胶结物, 构成了岩石骨架从而决定岩石的最终形态。表生成岩阶段, 强烈的溶蚀作用形成大的晶洞孔隙或通道孔隙, 后被潜流的等厚环壁柱状胶结物所充填。中、晚成岩阶段, 接近封闭状态的孔隙被等厚环壁刃状胶结物和粗粒的等粒亮晶方解石胶结物充填, 使礁灰岩孔隙度接近零; 先成的胶结物被热液改造, 使有机质含量和颜色发生变化而结构不变; 小部分先成胶结物形成铸模后被充填。在后生作用阶段发生构造破裂作用。叶状藻礁灰岩的孔隙系统较早被充填, 是其没能成为油气储集层的原因之一。在南盘江盆地内可能只有在后生作用阶段形成大且连通的孔隙的灰岩才能成为油气储集层。

关键词 成岩作用 胶结作用 叶状藻礁 上石炭统 扁平村

第一作者简介 孙宝亮 男 1970年出生 博士 讲师 沉积学 E-mail: sunbaoliang@mail.neu.edu.cn

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

0 引言

滇黔桂地区中—古生界海相新区是我国南方重要油气资源战略接替区^[1]。该区自1956年开始进行油气勘探至今, 除在四川盆地找到丰富油气储量外, 其他广大地区尚未取得实质性勘探突破^[1-2]。孔隙型礁滩相灰岩是重要储层之一^[2]。早在1958年就已发现贵州存在生物礁的线索, 1970年以来, 多部门、多单位都对生物礁做了大量研究工作^[3-4]。其中对油气勘探有实际意义的是中三叠统、上二叠统、中泥盆统的生物礁沉积^[2]。在南盘江盆地的生物礁及裂缝等特殊储层是近期主要的评价与预测研究内容^[1]。

石炭纪的生物礁全球发育的不好, 对其研究更是薄弱。2001年以来, 巩恩普教授课题组开展对黔南地区石炭纪生物礁的研究工作, 发现了多种类型的石炭纪生物礁, 扁平叶状藻礁就是其中之一。扁平叶状藻礁灰岩含大量各类型胶结物在猴场研究区内是显著的和有代表性的, 对礁灰岩的成岩作用的研究能使我们重构成岩历史和孔隙演化过程, 这是叶状藻礁研

究的重要组成部分, 也能为南盘江盆地内油气的运移成藏的研究提供帮助, 有重要的理论和一定的经济意义。

本文通过观察、分析野外露头、百余个光片、40个薄片^[5-6]、22个薄片的阴极发光和染色^[7-8], 研究礁体岩石成岩作用。经染色法确定碳酸盐中的矿物几乎都是方解石。

对于岩石学者来说阴极发光显微技术已经成为重要且被广泛应用的工具, 阴极发光为研究沉积岩提供一种全新的视角。阴极发光仪通过电子束轰击矿物晶体使其发光, 对于碳酸盐矿物来说 Mn^{2+} 和三价的稀土元素离子是最重要的外源激活剂, Fe^{2+} 是碳酸盐矿物阴极发光的猝灭剂。碳酸盐矿物的阴极发光性质反应了 Fe 和 Mn 离子的空间分布, 从而形成分区的碳酸盐胶结物的阴极发光岩石学概念, 它主要应用于观察解释成岩阶段、重构成岩事件、解释成岩历史等。

1 地质背景与礁体特征

贵州紫云县猴场镇的上石炭统位于扬子地台南

^①国家自然科学基金项目(编号: 40972004)资助。
收稿日期: 2011-01-11; 收修稿日期: 2011-04-02

缘,地层分区属华南区滇—黔—桂分区,黔南—桂北—滇东南小区^[9]。该区石炭—二叠纪地层连续沉积,属开阔台地边缘沉积环境^[10,11]。晚石炭世—二叠纪是文石海^[12,13],在低纬度区的南盘江盆地^[14,15]沉积的碳酸盐矿物以文石为主。猴场镇位于南盘江盆地的中北部。南盘江盆地经历的构造变动多,特别是印支—燕山期以来的构造变动,对古生代盆地进行了反复改造,使原有盆地地貌彻底解体^[16~18]。频繁的构造变动使晚古生代的南盘江盆地存在多期次的岩溶作用^[19]。在黔南石炭—二叠系的层序地层格架中,石炭系马平组对应较高位的相对海平面^[10,11,20~22],发育有海侵体系域和高水位体系域^[22],后续相对海平面的变化驱动了孔隙流体化学组成的改变,并依次控制了碳酸盐早期矿物稳定化和孔隙演化^[23]。

猴场镇以西约4 km的扁平村以南发育一个石炭纪马平期的叶状藻礁。礁体总体形态为低起伏的丘状,规模较大宽55 m厚18 m^[24~27]。层状或丘状的以叶状藻片等生物碎屑为骨架的含大量的同心的黑、白、灰色等厚环壁(是指在原生或次生孔隙壁上生长的等厚胶结物层)胶结物和葡萄状胶结物的胶结岩^[28]作为礁体的造架部分,和作为其基底或充填于其间的生物碎屑泥粒灰岩或泥粒灰岩,交错叠置形成叶状藻礁。扁平叶状藻礁灰岩以高生物含量和多生物种类及大量胶结物为显著特征,其中大量的各类胶结物猴场研究区内是显著的和有代表性的。

2 成岩作用与成岩阶段

成岩作用是指沉积物脱离沉积环境在变质作用

前随时间发生的物质成分或结构构造的改变,沉积物经历不同成岩环境即不同成岩阶段发生不同的成岩作用。每一时刻岩石都受到一或几种成岩作用的塑造。

笔者在野外、光片、薄片及薄片的阴极发光和染色的观察的基础上,确定扁平叶状藻礁及其周边灰岩经历的成岩作用主要有泥晶化、胶结、新生变形、机械压实、溶蚀、剪切或高温重结晶、构造破裂作用(图1)。其中胶结、溶蚀、新生变形作用作用时间长,表现形式多样。Bathurst解释Folk提出的新生变形作用为:包括同质多象转变和重结晶作用和进变新生变形作用(细粒嵌晶被粗粒嵌晶交代)^[29],它的产物是方解石化和晶体变大。并且Bathurst认为上述的重结晶作用的程度没有达到剪切或高温所造成的那种重结晶的程度^[29]。

经过观察和分析理出这些成岩作用发生的时间序列,并主要根据《碳酸盐岩成岩阶段划分》^[30],以岩石学标志、次生孔隙类型为依据,划分出扁平叶状藻礁灰岩所经历的各成岩环境和成岩阶段。下面将依序描述各成岩阶段发生的成岩作用的特征。

2.1 浅海海底同生成岩阶段

同沉积的浅海海底的成岩作用主要有泥晶化、胶结作用如下述,新生变形作用也在沉积物与海水界面下开始发生。

扁平叶状藻礁在不同大小的孔隙中形成不同的胶结物。叶状藻片丰富的沉积物由于藻片支撑和生物结壳及微晶胶结作用^[13]而存有大的孔隙和高的孔隙度,腕足壳、叶状藻片、苔藓虫等生物碎屑有淤泥晶套(轻微泥晶化作用)或微生物结壳。孔隙中形成等

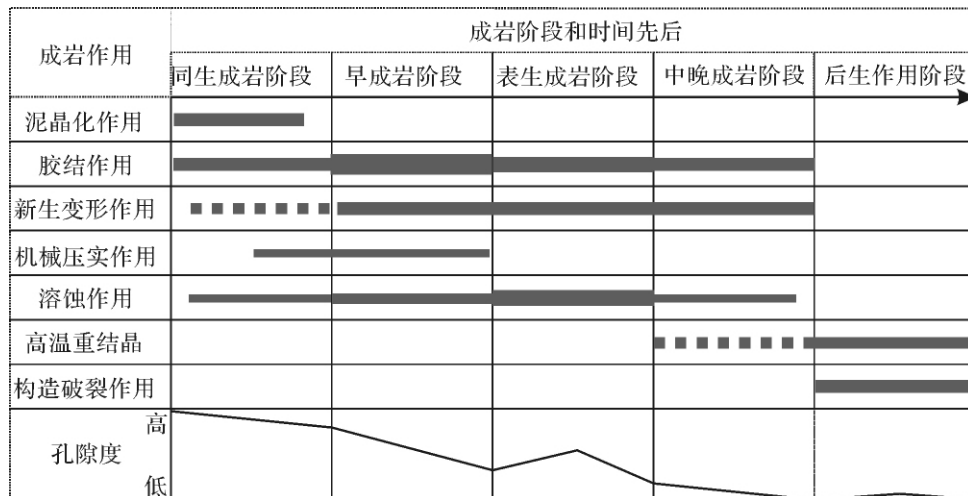


图1 扁平叶状藻礁灰岩各成岩阶段发生的成岩作用

Fig. 1 Paragenetic pathway of the diagenetic events records in the phylloid algal reef limestone

厚环边针状胶结物、葡萄状胶结物。含叶状藻片较少的生物碎屑粒泥和泥粒沉积物孔隙度低且渗透性差, 孔隙里形成微晶胶结物(图 2), 微晶胶结物与泥晶套和沉积灰泥等无大差别, 又经后期的作用而不易识别。

海底碳酸盐包括灰泥、生物壳(除海百合片、腕足壳和易成铸模的壳体)及生物结壳、泥晶套、微晶胶结物的阴极发光通常是暗红色。

等厚环边针状胶结物^[28, 31]形成时可能是纤维文石, 从由尘点状包裹体连成的边界看针状纤维细直, 宽度小于 10 μm , 长度与宽度之比大于 6:1(图 2、3、5、6 图版 I-4), 经历新生变形作用后变成较大方解石晶体^[13, 32-34]成模糊的刃状或犬牙状, 阴极发光为深黑蓝色。等厚环边针状胶结物常见在叶状藻片及苔藓虫上、腕足壳内生长。

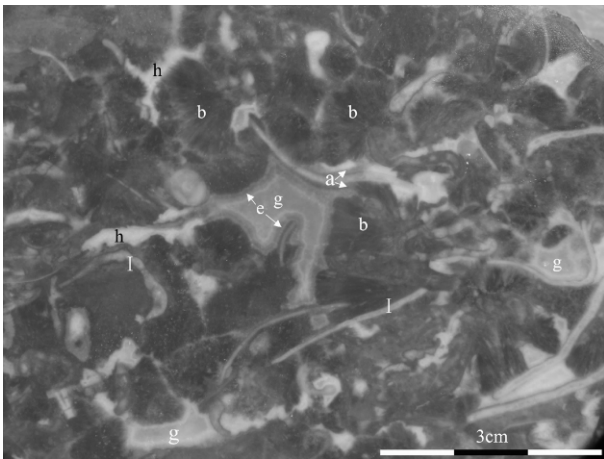


图 2 以海底的葡萄状胶结物为主的胶结岩(光片)

胶结物序列是: 海底环境叶状藻片有结壳或泥晶套且被微晶胶结(I)葡萄状胶结物(b)等厚环边针状胶结物(a); 淡水潜流的等厚环壁柱状胶结物(e); 深埋藏的等厚环壁刃状和等粒亮晶方解石胶结物(g)埋藏环境的被改造的胶结物(h)。

Fig. 2 The cementstone consists predominantly of sea-floor botryoidal cement (polished slab)

The sequence of cements is as follows: in the sea-floor environment, phylloid algal fragment(I) commonly encrusted or surrounded by micrite envelopes and cemented by micrite, botryoidal cement (b), isopachous acicular cement (a); in the meteoric phreatic environment, the isopachous layers of columnar cement(e) with the growth banding of light and dark; in the burial setting, isopachous bladed cement and coarse equant calcite spar (g), preexisting cements(h) altered.

葡萄状胶结物是由紧密放射状排列的针状纤维形成的半球形或扇形的矿物集合体(图 2、4)。从由尘点状包裹体连成的边界能看出针状纤维细直, 呈放射状排列, 宽度小于 10 μm , 长度与宽度之比大于 6

:1 经进变新生变形作用后, 已变成较大晶体方解石, 块状消光, 阴极发光为黑色。葡萄状胶结物扇形态好, 半径可达 3~4 mm, 不同扇间有竞争生长关系, 常见在叶状藻片间孔隙、生物壳腔等较大空间里生长(图 4)。在扁平叶状藻礁灰岩中葡萄状胶结物是常见的, 是形成胶结岩的主要胶结物之一(图 2)。

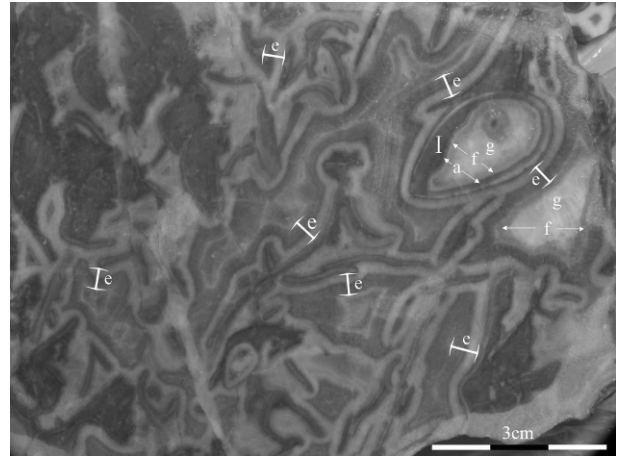


图 3 等厚环壁柱状胶结物丰富的胶结岩(光片)

由叶状藻片、腕足等生物碎屑经海底结壳和胶结作用构成格架。右上一个腕足壳内有灰泥(I)和胶结物的顶底构造。胶结物序列是: 海底的等厚环边针状胶结物(a); 淡水潜流的有明暗生长带的等厚环壁柱状胶结物(e); 深埋藏的等厚环壁刃状(f)和等粒亮晶方解石胶结物(g)

Fig. 3 The cementstone rich in the isopachous layers of columnar cement (polished slab)

Bioclasts such as phylloid algal, brachiopod encrusted and cemented in the sea-floor environment form framework. A brachiopod shell (top right) is filled with geopetal sediment(I) and roofed by cements. The sequence of the cements is as follows: marine isopachous acicular cement(a); meteoric phreatic isopachous columnar cement(e) with concentric, various gray growth-layering; burial isopachous bladed cement(f), and coarse equant calcite spar(g)

2.2 早成岩阶段

早成岩阶段是指沉积物被埋藏并脱离海水、大气水和混合水的影响之后, 在浅埋藏环境(海底之下几米至几十米^[28, 35])中固结成岩。其中的成岩作用有: 胶结、机械压实、新生变形、溶蚀作用等。

海水埋藏成岩作用的组构(如斑块状亮晶方解石胶结物、铸模孔、新生变形和微亮晶等)可以和大气水成岩作用具有相似性^[36-39]。微亮晶能作为胶结物形成于大气水和浅埋藏成岩环境, 而不仅仅是象被广泛接受的解释那样微亮晶是微晶进变新生变形的产物^[38]。

2.2.1 机械压实作用

泥粒灰岩中在大的海百合茎片周围的颗粒定向排列与海百合茎片的外表面渐趋于平行,是机械压实作用的体现,但几乎没有生物碎屑被机械压碎现象。由于层状和丘状的叶状藻片丰富且海底胶结作用强烈的岩化区起到支撑作用,所以叶状藻礁整体只有较轻的机械压实现象,使沉积物显得颗粒含量略有提高。

2.2.2 溶蚀作用

溶蚀作用产生铸模孔隙和非组构选择性的孔隙,例如形成圆斑状网格(海绵)状孔隙,被微亮晶充填,甚至 Tubiphytes 的黑壁也是如此(图4)。

2.2.3 胶结作用

碳酸盐岩胶结作用的大部分发生于浅埋藏环境^[40]。早成岩阶段的胶结作用在叶状藻礁灰岩成岩过程中发挥了至关重要的作用,为提供大量胶结物和构成了岩石骨架从而决定岩石的最终形态,使灰岩孔隙度大为降低。粒间孔沉淀斑块状亮晶方解石胶结物和微亮晶,这两种胶结物的含量在礁灰岩中含量高,阴极发光黑红色。



图4 溶蚀作用和各种胶结物(正交偏光)

成岩事件序列是:壳体内生长海底的葡萄状胶结物(a);浅埋藏的溶蚀作用形成圆斑网格(海绵)状孔隙(I),甚至 Tubiphytes 的黑壁(白箭头)也是如此,浅埋藏的放射纤维扇状胶结物(c);深埋藏的亮晶方解石胶结物(g),有些胶结物(h)被改造

Fig. 4 Dissolution and cements (cross-polarized light)

The sequence of diagenetic events is as follows: marine botryoidal cement (a) formed within a shell; in a shallow burial setting, dissolution accounted for the formation of dot reseau-like porosity (I), so did even black wall of Tubiphytes (white arrows), shallow-burial botryoidal cement (c); deep-burial coarse equant calcite spar (g), preexisting cement (h) altered in the burial setting

浅埋藏环境里易识别的胶结物是位移性的放射

纤维扇状胶结物^[34],也可以称为是葡萄状胶结物^[41](图4),但与海底的葡萄状胶结物扇的区别在于:①扇由两种宽度的放射纤维组成,一种是针状纤维不太直宽度小于10 μm,另一种是柱状纤维宽度大于10 μm 小于30 μm;②扇的生长受空间限制不能长成一个形态好的圆弧;③多数扇的角度和半径要小,半径在1.2~3.6 mm间,角度在30°~150°之间。相邻的放射纤维扇间有竞争生长关系。有的标本显示放射纤维扇状胶结物含量非常高,可达到整个薄片面积的1/3~1/2(图4)。

2.3 表生成岩阶段

处于早成岩阶段的扁平叶状藻礁灰岩在浅埋藏之后,因地壳运动抬升或海平面下降,暴露及接近地表的成岩环境,这时期称为表生成岩阶段;叶状藻礁灰岩经历了大气淡水的新生变形、溶蚀、胶结作用。

在 Moore 总结的淡水潜流含水层成岩模型中,在补给区的淡水渗流或潜流环境中不饱和淡水对碳酸盐沉积物和岩石主要是溶蚀作用,在有些部位形成较大的洞穴次生孔隙;在下流方向当淡水对方解石饱和后,淡水潜流环境的成岩作用主要是方解石胶结作用^[23]。

2.3.1 新生变形作用

海底碳酸盐包括灰泥、生物壳(除海百合片,腕足壳和易成铸模的壳体)及生物结壳、泥晶套、微晶胶结物的阴极发光通常是暗红色,与后续的海底胶结物和浅埋藏胶结物的阴极发光各不相同。

晚石炭世是文石海,海底文石、高镁方解石沉积和微晶胶结物在经历了浅埋藏和淡水成岩环境中新生变形作用转为方解石后就比较稳定而不易变化^[29, 36~39]。由于不同时的胶结物阴极发光各具特色,并且同时形成的沉积物或胶结物在区域范围内阴极发光具有一致性,说明它们虽然经历了同一新生变形过程,但没有显著改变其原始的阴极发光色,新生变形作用是在接近溶液膜形式下发生的,新生方解石中发光激活剂 Mn^{2+} 和三价的稀土元素离子,和猝灭剂 Fe^{2+} 的含量没有明显变化。

2.3.2 溶蚀作用

肉眼即可观察到由同心的等厚环壁柱状胶结物勾勒出的晶洞或通道孔隙是相连接的复杂的网络系统,广泛分布于叶状藻礁内。一些包括叶状藻片在内的细条状的东西看来是散布的和漂浮状的,实际是已被早期胶结物连成枝状的(图3、5、6、图版I-4)。单个孔隙的截面为弯曲的长条形或几个弯曲的长条形

的组合。微观看有伸长形或海岸线形状的较大晶洞或通道孔隙

这些晶洞或通道孔隙规模大且非构造选择符合淡水溶蚀的特征,应当是继承了遮蔽孔或粒间孔等原生孔隙的溶解加大的次生孔隙。

2.3.3 胶结作用

相连接的大的孔隙系统壁上形成同心的多层的黑、白、灰的等厚环壁柱状胶结物^[31 42~48](图 2、3、5、6)。同心的不同灰度的等厚环壁柱状胶结物层,反映了孔隙系统中的水化学条件的不断变化,黑色的含有较高沥青成分。在有同心的等厚环壁柱状胶结物的孔隙中心发育有顶底构造,其下部的沉积物是粉砂,上部覆盖的是亮晶方解石胶结物,两者的界面平直。

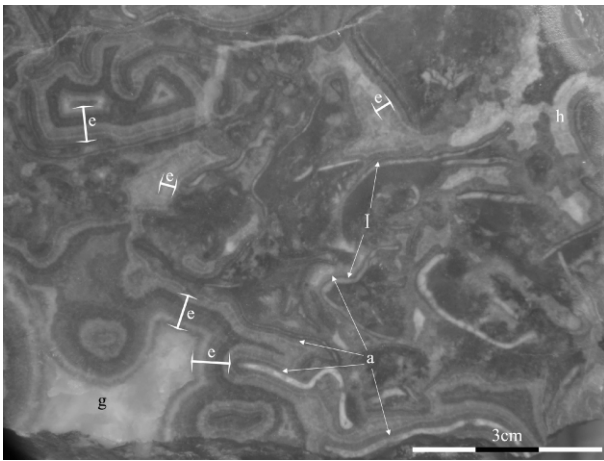


图 5 胶结物丰富的礁灰岩(光片)

经溶蚀作用形成的非构造选择性孔隙(左下角)。叶状藻和其他生物壳一般有结壳或泥晶套(I),凹面侧有障积的灰泥。胶结物序列是:海底的等厚环边针状胶结物(a);淡水的有明暗生长带的等厚环壁柱状胶结物(e);深埋藏的粗粒亮晶方解石胶结物(g)被改造的胶结物(h)

Fig. 5 The reef limestone rich in cements (polished slab) Secondary non-fabric selective porosity (bottom left corner) is created by dissolution. Phylloid algal fragments and other bioclasts commonly were encrusted or surrounded by micrite envelopes (I), carbonate mud was baffled in their concave side. The sequence of cements is: marine isopachous acicular cement (a); meteoric isopachous columnar cement (e) with concentric, various gray growth-layering; burial coarse equant calcite spar (g), preexisting cements (h) altered

构造裂缝孔隙壁上生长多层等厚环壁柱状胶结物,构造角砾内有早成的等厚环壁柱状胶结物,说明等厚环壁柱状胶结作用是多期次的(图 6)。

柱状胶结物就是 Kendall 所定义的有波状消光

和直的双晶面的放射纤维^[44 49]。柱状晶体长度与宽度之比大于 6:1^[43],宽 0.12~0.3 mm,长 1.8~3 mm (图版 I-4),阴极发光为深蓝黑色。不同层间不整合叠置或以微晶层隔开的整合叠置经研究认为在扁平叶状藻礁灰岩中,最显著的且含量较高的等厚环壁柱状胶结物,在有的标本中可以达到薄片面积的 50%~60%,就是在下流方向的淡水潜流环境下形成,是形成胶结岩的另一种主要胶结物。

斑块状亮晶方解石胶结物通常沉淀于伸长形或海岸线形状的较大晶洞孔隙和粒间孔隙,阴极发光蓝黑色,与早成岩阶段的比较难区别。与柱状胶结物相比斑块状胶结物形成于更慢速度和更低饱和度的水流中。

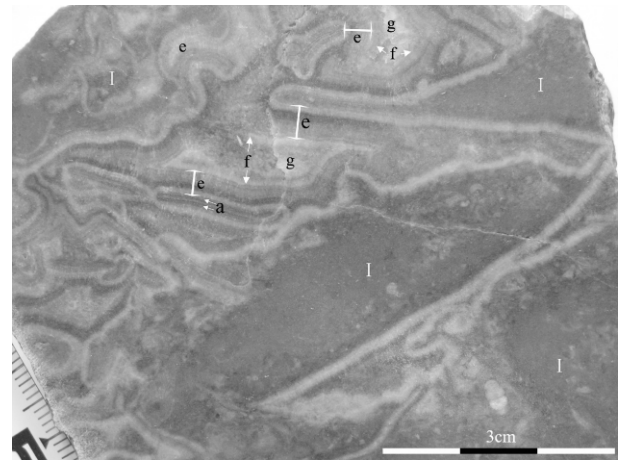


图 6 淡水潜流的构造裂隙和胶结物(光片)

成岩事件序列是:海底的等厚环边针状胶结物(a);大的构造角砾(I)内有先成淡水的等厚环壁柱状胶结物(e);淡水潜流的有不同灰度的等厚环壁柱状胶结物(e);深埋藏的等厚环壁刃状胶结物(f)和粗粒的亮晶方解石胶结物(g)

Fig. 6 Tectonic fracture and cements formed in the meteoric phreatic environment (polished slab)

The sequence of diagenetic events is as follows: marine isopachous acicular cement (a); preexisting meteoric isopachous columnar cement (e) in large angular fragments; meteoric isopachous columnar cement (e) with concentric, various gray growth-layering; burial isopachous bladed cement (f), and coarse equant calcite spar (g)

2.4 中、晚成岩阶段

中、晚成岩阶段大致发生于中—深埋藏成岩环境。扁平叶状藻礁灰岩的成岩作用主要有溶蚀、胶结、新生变形、可能剪切或高温重结晶作用,几乎没有化学压溶现象出现。

2.4.1 常见的溶蚀、胶结作用

在生物碎屑粒泥灰岩和泥粒灰岩中溶蚀作用形

成边界清晰的圆形、伸长的晶洞孔隙,没有或微弱被一向伸长的胶结物(针状、柱状、刃状)环壁生长,而被清透的粗粒晶簇或斑块状亮晶方解石胶结物所充填。一些早期孔隙的中心部位也被粗粒晶簇或斑块状亮晶方解石胶结物所充填,例如淡水溶蚀的晶洞或通道孔隙、遮蔽孔、粒间孔的中心部位,它们的阴极发光为黑色,中有黑红色规则环带,为金字塔或菱形。这种胶结物符合“深埋藏环境以形成等厚环壁刃状胶结物和粗粒的等粒亮晶方解石为特征”^[35]的结论。

中、晚成岩阶段的孔隙接近封闭状态,流入流出的流体少,结晶缓慢,所以更易形成清透的粗粒亮晶方解石胶结物(图版 I-1)。埋藏胶结作用使礁灰岩孔隙度接近零

2.4.2 有机质参与的溶蚀、胶结作用

有些在浅埋藏时形成的放射纤维扇状胶结物颜色变黑,含较高的沥青,并且放射纤维扇内有溶蚀孔,内充填粗粒亮晶方解石胶结物。从手标本看放射纤维扇外部的同心等厚环壁柱状胶结物大部分变白,而结构没变化,与灰色的部分连续。一般充填洞穴中心的胶结物未变色。这种情况比较常见。

形成上述现象原因可能是:先成的胶结物在深埋藏环境里被热液改造。在热液的作用下,孔隙度较大的灰色等厚环壁胶结物重结晶形成结构没变化而杂质含量少的白色同类胶结物(图 2、4),其中的微孔隙被方解石充填。热液使葡萄状胶结物扇产生溶蚀孔,热液携带少量的有机质渗透,有机质在小孔隙和死端孔隙滞留下来,使葡萄状胶结物扇和一些生物碎屑中有较高的沥青含量,颜色变黑。

2.4.3 形成先成胶结物铸模的溶蚀、胶结作用

先成的等厚环壁刃(或柱)状胶结物明显被溶解形成铸模,这种溶蚀、胶结作用是一种很少见的情况。镜下观察,相邻的刃(或柱)状胶结物(横切面为蜂窝状)界线是亮线条,它由两侧的粗细不均的黑线勾勒出来,这种黑线是刃(或柱)状胶结物形成铸模后沉淀的微晶层(图版 I-2)。后充填铸模的亮晶方解石胶结物羽毛状消光,阴极发光为蓝黑色。同时溶蚀成的晶洞孔隙也被上述的亮晶方解石胶结物充填。并且有阴极发光为亮橙色网格状脉浸染,反映了热液溶蚀和结晶的特点。

与铸模被充填同时,新形成的放射纤维扇状胶结物和刃状胶结物,破坏等厚环壁刃(或柱)状胶结物的底质等厚环边针状胶结物(图版 I-3)。

2.4.4 新生变形作用或高温重结晶作用

礁灰岩多数已亮晶化,少数标本中生物碎屑轮廓变模糊而不易识别,岩石经历了进变新生变形或剪切和高温重结晶作用。

2.5 后生(后成)作用阶段

后生(后成)作用是指沉积物固结成岩之后到遭受变质或再次风化之前所发生的变化^[50-51]。在扁平叶状藻礁灰岩中观察到的后生作用主要是剪切和高温重结晶、构造破裂作用,和个别的化学压溶现象。剪切和高温重结晶作用使礁灰岩略大理岩化和产生双晶。构造破裂作用是指碳酸盐在固结成岩后,在由于受到构造应力作用下,岩石中发育规模、大小不同的构造裂隙,后被矿物质半充填或全充填^[52]。

2.5.1 在浅部(氧化还原界面附近)渗流和潜流环境的构造破裂作用

图版 I-4 展示的标本体现了典型浅部的构造破裂作用,这种情况少见。通过对它的观察建立了一个比较复杂的成岩作用序列如下:在张性构造裂隙内,有大小混杂堆积的黑灰色和少量红褐色构造角砾,可以看出它们是礁灰岩埋藏成岩后的。(1)渗流环境下,角砾间孔隙被奶白色和灰色方解石所胶结,同时少数小角砾被白色和灰色同心胶结物层包围形成渗流豆粒;后沿裂隙壁和刚成的细裂隙壁生长等厚环壁胶结物,上有含红褐色含 Fe_2O_3 的微晶层沉淀。(2)裂隙喉道堵塞后形成的洞穴下部沉积异地来源的小砾石和红褐色含 Fe_2O_3 晶体粉砂,层理比较明显,向上颗粒变细,指示这时是氧化的渗流环境。(3)上部的洞穴被等厚环壁刃状胶结物和粗粒亮晶方解石胶结物充填,表明成岩环境已转为还原的潜流和埋藏环境。

2.5.2 在深部环境的构造破裂作用

多数情况是在深部环境构造裂隙被白色、绿色粗粒的刃状和等粒的亮晶方解石胶结物充填。其中一小部分裂隙的中间部位充填沥青,或以条块状存在,或赋存于粗粒方解石晶间孔隙。构造裂隙内的角砾和壁上的灰岩有的由于随热液而来的有机质的渗入而变黑(图版 I-5)。

3 方解石的双晶特征及其指示意义

Ferrill 和 Burkhard 认为:方解石的双晶宽度与形成温度之间存在紧密正相关关系,并且双晶形态发生显著变化是在 $170 \sim 200^\circ\text{C}$ 间, 170°C 以下形成薄的双晶(厚度 $\leq 1 \mu\text{m}$),厚的双晶(厚度 $> 1 \mu\text{m}$)形成在超过 200°C 的温度下^[53-56]。

扁平村叶状藻灰岩的粗粒方解石胶结物中的双

晶的厚度普遍远大于 $1\mu\text{m}$ (图版 I-4、6), 有些双晶有弯曲交错现象(图版 I-6), 即使在后生作用阶段的亮晶方解石胶结物的双晶宽度也是远大于 $1\mu\text{m}$ 的。这些双晶形成于超过 200°C 的温度下。

结合①南盘江盆地不同时期的古地温梯度^[57]和②双晶形成温度超过 200°C 的结论, 确定叶状藻礁灰岩的可能埋深如下: 泥盆纪、石炭纪超过 5.7 km ($31\sim 35^\circ\text{C}/\text{km}$); 二叠纪超过 $4.4\sim 2.8\text{ km}$ ($45\sim 70^\circ\text{C}/\text{km}$); 中生代超过 6.6 km ($30^\circ\text{C}/\text{km}$); 新生代超过 7.1 km ($28^\circ\text{C}/\text{km}$)。目前不确定方解石双晶形成于何时, 即使在地温梯度最高的二叠纪, 埋深也超过 2.8 km 。

在后生作用阶段生成的亮晶方解石胶结物中的双晶形成于超过 200°C 的温度下, 说明灰岩经历了一次超过 2.8 km 的深埋藏, 如果不是在二叠纪, 埋深会超过 5.7 km 。而后生作用是灰岩在第一次深埋藏之后的经地壳抬升接近地表时发生的。所以叶状藻礁灰岩经历了二次或以上的深埋藏过程, 叶状藻礁灰岩代表的上石炭统灰岩的埋深是频繁变化的, 印证了其它文献的南盘江盆地地壳升降频繁和经历多次岩溶作用的结论^[16~19]。

4 结论

(1) 贵州紫云县猴场镇扁平村的上石炭统中的叶状藻礁及其周边灰岩中广泛发育强烈的成岩作用, 成岩作用类型主要有泥晶化、溶蚀、胶结、新生变形、机械压实、剪切或高温重结晶、构造破裂作用等。其中胶结、溶蚀、新生变形作用作用时间长、强烈, 表现形式多样。

①浅海海底同生成岩阶段, 叶状藻片丰富的沉积物由于生物结壳及微晶胶结作用而存有大的孔隙, 其中生成等厚环边针状胶结物、葡萄状胶结物; 生物碎屑粒泥和泥粒沉积物孔隙度较低, 孔隙里形成微晶胶结物。②早成岩阶段的成岩作用有轻微压实、溶蚀作用, 和在叶状藻礁灰岩成岩过程中发挥了至关重要的作用的胶结作用。胶结作用提供了大量的微亮晶、斑块状亮晶方解石、放射纤维扇状胶结物, 和构造了岩石骨架从而决定岩石的最终形态。③表生成岩阶段, 强烈的溶蚀作用形成大的晶洞孔隙或通道孔隙, 后被潜流的同心等厚柱状胶结物环壁生长。至此, 胶结作用使扁平村叶状藻礁及其周边灰岩孔隙度大为降低, 能抵抗压实作用。④中、晚成岩阶段, 接近封闭状态的孔隙被等厚环壁刃状胶结物和粗粒的等粒亮晶方

解石胶结物充填, 使礁灰岩孔隙度接近零; 先成的胶结物被热液改造, 使有机质含量和颜色发生变化而结构不变; 小部分先成胶结物形成铸模后被充填。新生变形作用以接近溶液膜形式进行, 基本不改变孔隙。⑤在后生作用阶段发生构造破裂作用。少数裂隙有指示接近地表的氧化渗流环境的环壁红褐色微晶层和渗流豆粒和红褐色含 Fe_2O_3 晶体粉砂; 多数裂隙充填了粗粒的刃状和等粒的亮晶方解石胶结物, 其中有的裂隙中间部位充填了沥青。

(2) 叶状藻灰岩的亮晶方解石胶结物中双晶的厚度普遍大于 $1\mu\text{m}$, 包括后生作用阶段的双晶形成温度大于 200°C 。在后生作用阶段叶状藻礁灰岩有一次深埋超过 2.8 km , 如果不是在二叠纪, 深埋会超过 5.7 km 。上石炭统的灰岩是在经历了二次或以上的深埋藏过程, 印证了其它文献的南盘江盆地地壳升降频繁和经历多次岩溶作用的结论。

(3) 叶状藻礁灰岩的孔隙系统较早被胶结, 在第一次深埋藏过程中孔隙就几乎被完全胶结, 是此叶状藻礁灰岩没能成为油气储集层的原因之一。南盘江盆地内可能只有在后生作用阶段形成大而连通的次生孔隙的灰岩才能成为油气储集层。

参考文献 (References)

- 1 周明辉, 麻建明, 郑冰. 滇黔桂海相油气成藏条件及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 333-352 [Zhou Minghui, Ma Jianming, Zheng Bing. Analysis on the forming regularity of hydrocarbon accumulation and exploration prospects of the marine basins in Yunnan-Guangxi-Guizhou Region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(4): 333-352]
- 2 马永生, 郭彤楼, 付孝悦, 等. 中国南方海相石油地质特征及勘探潜力[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 19-27 [Ma Yongsheng, Guo Tonglou, Fu Xiaoyue, et al. Petroleum geology of marine sequences and exploration potential in Southern China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(3): 19-27]
- 3 李钟模. 滇黔桂地区二叠纪的生物礁[J]. 贵州地质, 1988, 5(1): 31-42 [Li Zhongmo. The Permian bioherm in the region of East-Yunnan, South-west Guizhou and West Guangxi [J]. Geology of Guizhou, 1988, 5(1): 31-42]
- 4 张孝林, 王建民. 南盘江地区二叠纪生物礁造架生物的初步研究[J]. 地质科学, 1988, 3: 205-212 [Zhang Xiaolin, Wang Jiamin. Preliminary study of frame-builder organisms from Permian in Nanpanjiang region [J]. Scientia Geologica Sinica, 1988, 3: 205-212]
- 5 Dravis J J, Yurewicz D A. Enhanced carbonate petrography using fluorescence microscopy [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1985, 55(6): 795-804
- 6 Dravis J J. Carbonate petrography-update on new techniques and applications [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61: 626-628

- 7 Dickson J A D. A modified staining technique for carbonates in thin section [J]. *Nature*, 1965, 205: 587-587
- 8 Dickson J A D. Carbonate identification and genesis as revealed by staining [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1966, 36: 491-505
- 9 王增吉. 中国的石炭系 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 215-248 [Wang Zengji. The Carboniferous System of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 215-248]
- 10 焦大庆, 马永生, 邓军, 等. 黔桂地区石炭纪层序地层格架及古地理演化 [J]. *现代地质*, 2003, 17(3): 294-302 [Jiao Daqing, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. The sequence-stratigraphic framework and the evolution of paleogeography for Carboniferous of the Guizhou and Guangxi areas [J]. *Geoscience*, 2003, 17(3): 294-302]
- 11 梅冥相, 孟庆芬, 易定红, 等. 黔桂地区石炭系层序地层格架及海平面变化 [J]. *地球学报*, 2004, 25(1): 39-46 [Mei Mingxiang, Meng Qingfen, Yi Dinghong, et al. Carboniferous sequence framework in Guizhou and Guangxi, southern China [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25(1): 39-46]
- 12 Sandberg P A. An oscillating trend in Phanerozoic non-skeletal carbonate mineralogy [J]. *Nature*, 1983, 305: 19-22
- 13 James N P, Choquette P W. Limestone-the sea floor diagenetic environment [M] // McIlreath I A, Morrow D W, ed. *Diagenesis*. Toronto: Geological Association of Canada, 1990, 13-34
- 14 王俊达, 李华梅. 贵州石炭纪古纬度与铝土矿 [J]. *地球化学*, 1998, 27(6): 576-578 [Wang Junda, Li Huamei. Carboniferous paleo-latitude and bauxite deposit of Central Guizhou Province [J]. *Geochimica*, 1998, 27(6): 576-578]
- 15 王立亭. 贵州古地理的演变 [J]. *贵州地质*, 1994, 11(2): 133-140 [Wang Liting. Evolution of the paleogeography in Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1994, 11(2): 133-140]
- 16 刘特民, 刘炳温, 陈国栋, 等. 南盘江盆地构造演化与油气保存区划分 [J]. *天然气工业*, 2001, 21(1): 18-23 [Liu Temin, Liu Bingwen, Chen Guodong, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon preservation region division in Nanpanjiang Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(1): 18-23]
- 17 梅冥相, 马永生, 戴少武, 等. 南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分 [J]. *现代地质*, 2001, 15(1): 74-82 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Dai Shaowu, et al. Late paleozoic filling succession of the Nanpanjiang Basin and the division of association of oil generating strata, reservoir and capping bed [J]. *Geoscience*, 2001, 15(1): 74-82]
- 18 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地古油藏沥青-天然气的地球化学特征及成因 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(2): 167-177 [Zhao Mengjun, Zhan Shuichang, Zhao Lin, et al. Geochemical features and genesis of the natural gas and bitumen in paleo-oil reservoirs of Nanpanjiang Basin, China [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(5): 689-701]
- 19 麻建明, 侯明才, 陈洪德, 等. 晚古生代右江盆地古岩溶作用研究 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2005, 25(1-2): 203-209 [Ma Jianming, Hou Mingcai, Chen Hongde, et al. The palaeokarstification in the Late Palaeozoic Youjiang Basin, Southwestern China [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2005, 25(1-2): 203-209]
- 20 梅冥相, 高金汉, 孟庆芬, 等. 黔桂地区二叠纪层序地层格架及相对海平面变化研究 [J]. *高校地质学报*, 2002, 8(3): 318-333 [Mei Mingxiang, Gao Jinhao, Yi Dinghong, et al. Study on sequence stratigraphic framework and relative sea-level changes of the Permian in Guizhou and Guangxi areas, South China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2002, 8(3): 318-333]
- 21 焦大庆, 马永生, 邓军, 等. 黔桂地区二叠纪层序地层格架及古地理演化 [J]. *石油实验地质*, 2003, 25(1): 18-27 [Jiao Daqing, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. The Permian sequence stratigraphic framework and evolution of sedimentary facies and paleogeography in Guizhou and Guangxi areas [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(1): 18-27]
- 22 林小兵, 李国忠, 田景春, 等. 黔南石炭系层序地层格架中碳酸盐岩成岩作用研究 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(3): 267-272 [Lin Xiaobing, Li Guozhong, Tian Jingchun, et al. Study on diagenesis of the carbonate rocks in the Carboniferous sequence stratigraphic framework of South Guizhou. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2007, 34(3): 267-272]
- 23 Moore C H. Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework [M]. New York: Elsevier, 2001, 185-219
- 24 李金梅, 巩恩普, 孙宝亮, 等. 贵州紫云晚石炭世叶状藻礁灰岩微相特征与沉积环境的研究 [J]. *沉积学报*, 2010, 28(1): 26-32 [Li Jinmei, Gong Enpu, Sun Baoliang, et al. Sedimentary environment and microfacies analysis of the Late Carboniferous phylloid algal reef in the Ziyun County, Guizhou [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(1): 26-32]
- 25 张永利, 巩恩普, 关长庆, 等. 贵州紫云石炭纪叶状藻礁: 藻类繁盛的标志 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 177-182 [Zhang Yongli, Gong Enpu, Guan Changqing, et al. Carboniferous phylloid algal reefs in Ziyun County, Guizhou (South China): evidence of algal blooms [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 177-182]
- 26 巩恩普, 张永利, 关长庆, 等. 黔南石炭纪生物礁造礁群落的基本特征 [J]. *地质学报*, 2007, 81(9): 1183-1194 [Gong Enpu, Zhang Yongli, Guan Changqing, et al. Primary features of reef building communities of Carboniferous reef in South Guizhou Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(9): 1183-1194]
- 27 Gong Enpu, Elias Samankassou, Guan Changqing, et al. Paleoecology of Pennsylvanian phylloid algal buildups in south Guizhou, China [J]. *Facies*, 2007, 53: 615-623
- 28 Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks* [M]. New York: Springer, Berlin Heidelberg, 2004: 1-976
- 29 Bathurst R G C. *Carbonate Sediments and Their Diagenesis* [M]. New York: Elsevier, 1975: 1-658
- 30 孔金祥, 李国蓉. 碳酸盐岩成岩阶段划分 (SY/T54782-2003). 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-13 [Li Jinxiang, Li Guorong. *The Division of Diagenetic Stages in Carbonate Rock (SY/T54782-2003)*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 1-13]
- 31 Scholle P A, Ulmer-Scholle D S. *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis* [M]. O-

- klahoma: The American Association of Petroleum Geologists, 2003: 1-459
- 32 Sandberg P. Aragonite cements and their occurrence in ancient limestone [C] // Schueidermann N, Harris P M, ed. Carbonate Cements. Oklahoma: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1985: 33-58
- 33 Frisia S, Borsato A, Fairchild I J, et al. Calcite fabrics, growth mechanisms, and environments of formation in speleothems from the Italia Alps and Southwestern Ireland [J]. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70(5): 1183-1196
- 34 Frisia S, Borsato A, Fairchild I J, et al. Aragonite-calcite relationships in speleothems (Grotte De Clamouse, France): environment, fabrics, and carbonate geochemistry [J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72(5): 687-699
- 35 Choquette P W, James N P. Limestone: the Burial Diagenetic Environment [M] // McIlreath I A, Morrow D W, ed. Diagenesis. Toronto: Geological Association of Canada, 1990: 75-112
- 36 黄思静, 张雪花, 刘丽红, 等. 碳酸盐成岩作用研究现状与前瞻 [J]. 地学前缘, 2009, 16(5): 219-231 [Huang Sijing, Zhang Xuehua, Liu Lihong, et al. Progress of research on carbonate diagenesis [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(5): 219-231]
- 37 Robert G M. Recurrent neomorphic and cement microtextures from different diagenetic environments, Quaternary to Late Neogene carbonates, Great Bahama Bank [J]. Sedimentary Geology, 1995, 97: 1-7
- 38 Leslie A M, Peter K S, Robert G M. Meteoric-like fabrics forming in marine waters: Implications for the use of petrography to identify diagenetic environments [J]. Geology, 1995, 23(8): 755-758
- 39 Melima L A, Westphal H, Swart P K, et al. Questioning carbonate diagenetic paradigms: evidence from the Neogene of the Bahamas [J]. Marine Geology, 2002, 185: 27-53
- 40 Andrea C K, Maria. Missing aragonitic biota and the diagenetic evolution of heterozoan carbonates: a case study from the Oligo-Miocene of the Central Mediterranean [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76: 871-888
- 41 McBride E F, Picard M D, Milliken K L. Calcite-cemented concretions in Cretaceous sandstone, Wyoming and Utah, U. S. A. [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(3): 462-483
- 42 Kendall A C, Broughton P L. Origin of fabrics in speleothems composed of columnar calcite crystals [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1978, 48(2): 519-538
- 43 Given R. K, Wilkinson B H. Kinetic control of morphology, composition, and mineralogy of abiotic sedimentary carbonates [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1985, 55(1): 109-119
- 44 Kendall A C. Radial fibrous calcite: a reappraisal [C] // Schueidermann N, Harris P M, ed. Carbonate Cements. Oklahoma: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 1985: 59-78
- 45 Kendall A C. Columnar calcite in speleothems: discussion [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(3): 550-552
- 46 González L A, Carpenter S J, Lohmann K C. Inorganic calcite morphology: roles of fluid chemistry and fluid flow [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62(3): 382-399
- 47 Nielsen P, Muchez P, Heijlen W, et al. Columnar calcites as testimony of diagenetic overprinting at the boundary between Upper Tournaisian dolomites and limestones (Belgium): Multiple origins for apparently similar features [J]. Sedimentology, 2005, 52: 945-967
- 48 Csoma A E, Goldstein R H, Pomar L. Pleistocene speleothems of Mallorca: implications for palaeoclimate and carbonate diagenesis in mixing zones [J]. Sedimentology, 2006, 53: 213-236
- 49 Kendall A C, Tucker M E. Radial fibrous calcite as a replacement after syn-sedimentary cement [J]. Nature, 1971, 232: 62-63
- 50 夏文杰, 李秀华. 沉积成岩作用阶段划分的有关问题 [J]. 地质论评, 1995, 41(5): 444-451 [Xia Wenjie, Li Xiaohua. A review of the classification of diagenesis [J]. Geological Review, 1995, 41(5): 444-451]
- 51 时国, 田景春, 吴永良, 等. 南华北地区下古生界碳酸盐岩成岩作用及其对储层的影响 [J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 10-15 [Shi Guo, Tian Jingchun, Wu Yongliang, et al. Lower Paleozoic carbonate diagenesis feature and controlling over reservoirs in Southern North China [J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(2): 10-15]
- 52 王正允, 张紫光, 张敏, 等. 冀北坳陷雾迷山组的成岩作用及成岩相特征——以辽宁省凌源县魏杖子剖面为例 [J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2009, 31(4): 1-8 [Wang Zhengyun, Zhang Ziguang, Zhang Min, et al. Diagenesis and features of diagenetic facies of Wumishan Formation of Jibei depression: by taking the Weizhangzi section of Lingyuan county in Liaoning province for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4): 1-8]
- 53 Ferrill D A. Calcite twin widths and intensities as metamorphic indicators in natural low-temperature deformation of limestone [J]. Journal of Structural Geology, 1991, 13(6): 667-675
- 54 Burkhard M. Calcite twin, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review [J]. Journal of Structural Geology, 1993, 15(3-5): 351-368
- 55 Ferrill D A. Critical re-evaluation of differential stress estimates from calcite twins in coarse-grained limestone [J]. Tectonophysics, 1998, 285: 77-86
- 56 Ferrill D A, Morris A P, Evans M A, et al. Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer [J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26: 1521-1529
- 57 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地主要烃源岩热演化史及油气生成史 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 271-275 [Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Zhao Ling, et al. The thermal evolution history and oil and gas generation history of main source rocks in the Nanpanjiang Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 271-275]

Diagenesis of the Upper Carboniferous Phylloid Algal Reef Limestone in Ziyun County , Guizhou

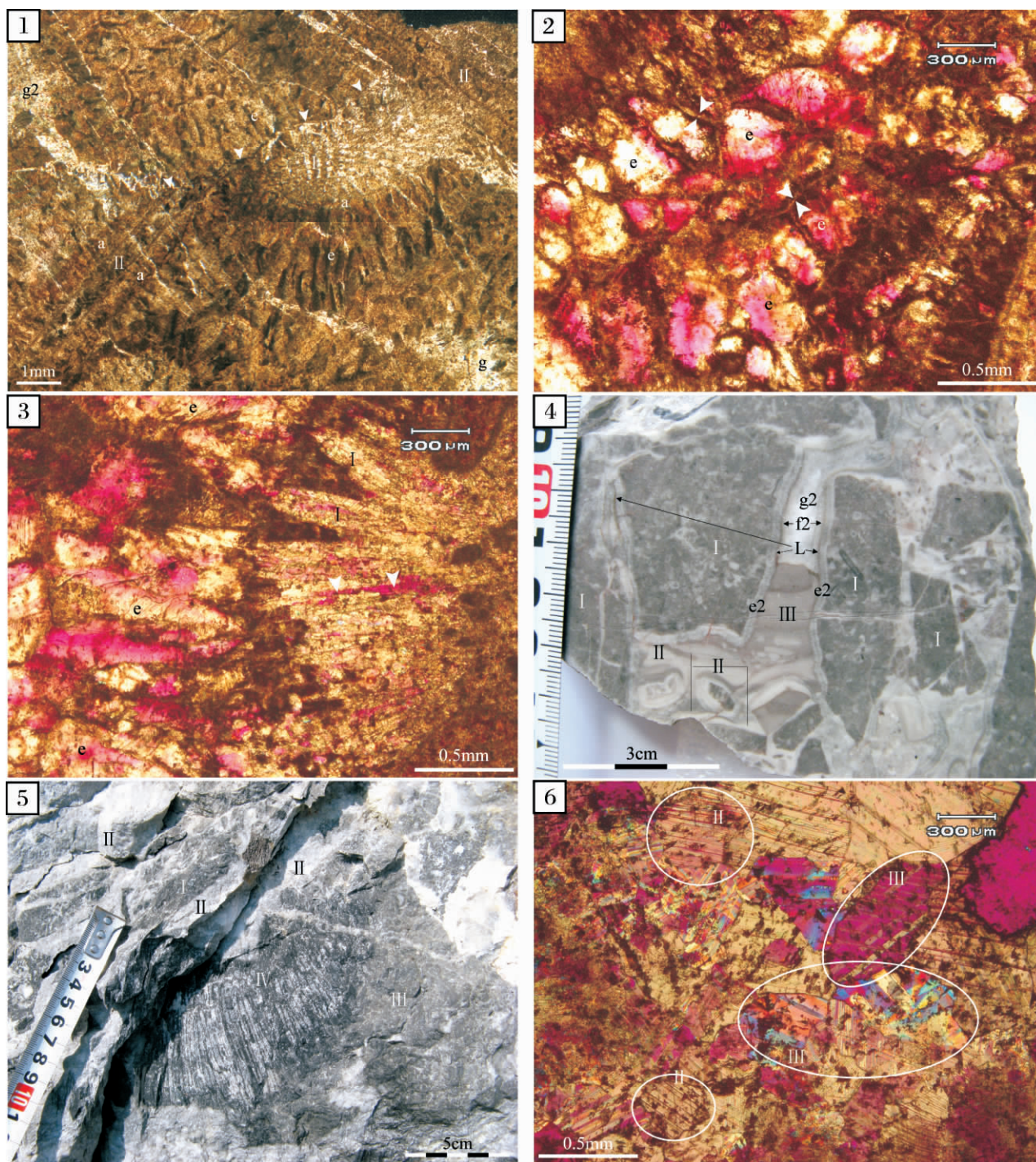
SUN Bao-liang¹ GONG En-pu¹ LI Jing-mei² GUAN Chang-qing¹ ZHANG Yong-li¹

(1. Geology Department of Northeastern University , Shenyang 110004;

2. East China Mineral Exploration and Development Bureau , Nanjing 210007)

Abstract: The upper Carboniferous phylloid algal reef and circumjacent limestone has undergone intensive diagenesis in the Bianping Village of Houchang Town , Ziyun County , the cements , signs of the effect of the diagenesis , are prominent and representative in the region of Houchang Town. The diagenesis of phylloid algal reef limestone are studied in detail by means of rock outcrop and slab and thin section analysis and observation using polarising microscope , alizarin red and potassium ferricyanide staining , cathodoluminescence. Diagenetic environments in the reef limestone are recognized , paragenetic sequences determined , diagenetic stages divided , and the diagenetic history reconstructed . The main types of the diagenesis include micritization , cementation , neomorphism , physical compaction , dissolution , shear or high-temperature recrystallization , fracturing , etc. Among the processes , cementation , neomorphism , dissolution affect rock over a long time , intensively , having various appearances. During syndiagenetic stage , sediment rich in the fragments of phylloid algal thalli had high porosity and largely preserved shelter porosity , micritization and cementation occurs extensively , marine botryoidal cement and acicular cement grew in pores; whereas bioclastic wackestone and packstone sediment poor in the fragments of phylloid algal thalli generally had low porosity and permeability , micrite cement grew in pores. There were light compaction and dissolution , and cementation that play a key role in the diagenetic process of the reef limestone , during early diagenetic stage. Cementation supplied a great deal cements , including blocky calcite spar and calcite microspar precipitated in small pores , and radiating cement fans grew in big pores. Cementation constructed rock framework , and consequently decided the features of the limestone rock. During epidiagenetic stag , vuggy or channel porosity was created by intense meteoric dissolution in the recharge area; meteoric phreatic cements precipitated in downflow areas , including isopachous columnar cement , and equant and blocky calcite cement , isopachous columnar cement is volumetrically more abundant. So far the porosity of the reef limestone had been reduced dramatically through early-stage cementation , so the reef limestone could prevent mechanical compaction. During middle and late diagenetic stage , nearly occluded porosity was filled with isopachous bladed cement and coarse drusy or blocky calcite spar because of low rates of fluid influx and efflux , making total porosity in the reef limestone reduce to approximately zero. Preexisting cements were altered on the hydrocarbon composition and color , but the crystal fabrics unaltered. The color of isopachous bladed to columnar calcite cement changed from gray to white , and the color of botryoidal cement became more blackish due to hydrocarbon infiltration. A little isopachous bladed to columnar calcite cement were dissolved , leaving mouldic pores filled subsequently. Construction fracturing is one of the main types of diagenesis that took place during catagenesis stage. Rusty microcrystalline layers containing Fe_2O_3 lining the wall of some fractures , and vadose pisoids and ferruginous crystal silt containing Fe_2O_3 deposited at the bottom of the cavities formed in the tectonic fractures , indicate that they formed in oxidizing vadose environments. Most fractures are filled with white or green bladed cement and clear coarse sparry calcite cement , the middle part of some fractures is filled with bitumen block. Nearly all twins in calcite filling fractures are thicker than $1\mu m$, therefore it can be derived that the thick twins deformed at the temperature above $200^{\circ}C$. So the phylloid algal reef limestone was again buried deeper than 2.8km during catagenesis stage. This indicates that the Nanpanjiang Basin has undergone frequent elevation-subsidence. It might be a reason for that the phylloid algal reef limestone did not become oil and gas reservoirs that the pores of the phylloid algal reef limestone were occluded by burial cement. Only limestone that has large interconnected secondary pores generated during catagenesis stage could become oil and gas reservoirs in the Nanpanjiang Basin.

Key word: diagenesis; cementation; phylloid algal reef; Upper Carboniferous; Bianping village



图版 I 说明: 1. 叶状藻 (I) 和苔藓虫 (II) 有泥晶套, 外有海底的等厚环边针状胶结物 (a), 二者都被淡水溶蚀掉 (白箭头)。后沉淀淡水潜流等厚环壁柱状胶结物 (e), 剩余孔隙被深埋藏的晶簇状亮晶方解石 (g) 所胶结 (正交偏光)。2. 二条黑线 (代表微晶层) (白箭头) 中间的亮线, 是横切面为蜂窝状的等厚环壁刃 (或柱) 状胶结物 (e) 的边界 (正交偏光加石膏试板)。3. 由新成的柱状纤维 (白箭头) 合并的刃状胶结物 (I) 破坏了等厚环壁刃 (或柱) 状胶结物 (e) 的底质 (正交偏光加石膏试板)。4. 构造破裂作用的充填序列: 大小混杂堆积的构造角砾 (I) 渗流豆粒 (II), 等厚环壁柱状胶结物 (e2) 红褐色含 Fe_2O_3 的微晶层 (L) 纹层状红褐色晶体粉砂 (III), 等厚环壁刃状胶结物 (f2) 亮晶方解石胶结物 (g2) (光片)。5. 构造裂隙内的角砾 (I) 和网状方解石脉 (II) 及裂隙壁 (III) 上的变黑的群体珊瑚 (IV)。6. 充填构造裂隙的亮晶方解石中的双晶的宽度远大于 $1\ \mu\text{m}$ (正交偏光加石膏试板)。双晶类型 II: 板状厚双晶, 形成温度 $> 200^\circ\text{C}$; 双晶类型 III: 弯曲的和透镜状的双晶, 形成温度 $> 200^\circ\text{C}$ 。