

崔杰,代群威,王富东,等.四川黄龙地区鲕状钙华包壳粒的发现及其特征[J].中国岩溶,2021,40(1):125-132.
DOI:10.11932/karst20210113

四川黄龙地区鲕状钙华包壳粒的发现及其特征

崔杰¹,代群威¹,王富东¹,董发勤¹,宋韬¹,党政²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学应用技术学院, 四川 绵阳 621010)

摘要:在雪宝顶北麓的黄龙地区新发现的鲕状钙华包壳粒,是高寒区钙华形成环境中产出的一类典型陆相包壳颗粒构造。通过系统采样鲕状包壳粒沉积剖面,并借助常规显微镜、扫描电镜与能谱分析等,揭示出鲕状钙华包壳粒的矿物组分、微观结构等特征。结果表明:研究区的鲕状钙华包壳粒分为同心圆状、同心圆—放射状、薄壁同心圆状3种基本类型,包壳粒核部是由异地的钙华碎屑构成,外壳层是由泥晶与微亮晶方解石纹层围绕核部逐层形成的圈层构造;微观特征显示泥晶层无明显微生物成因发育特征。鲕状钙华包壳粒的微观形态与组构特征反映出壳体中的泥晶圈层可能形成于相对深的静水环境,亮晶圈层可能形成于浅水高能环境,鲕状钙华包壳粒的成因偏于鲕类而非核形石类。

关键词:黄龙地区;钙华;包壳粒;圈层构造

中图分类号:P642.25 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2021)01-0125-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

碳酸盐岩地层中广泛发育着形态多样的包壳颗粒沉积构造^[1-2],包括鲕粒、核形石等,包壳粒能够反映特定的沉积环境与演化机制,对揭示古气候环境与成岩作用具有重要意义^[3-4]。长期以来,国内外学者对不同地层中碳酸盐岩包壳粒沉积物开展了大量相关研究,推动了对包壳粒成因认识的不断发展^[5-8],某些类型包壳粒的成因机制非常复杂,至今关于海相鲕粒属于有机或非有机成因这样的科学争议仍然十分引人关注^[4]。另一方面,陆相地层中同样发育丰富的包壳颗粒沉积,常见于湖泊、河流、洞穴、热泉等环境^[9-14],以往一些学者将陆相的鲕状包壳粒划归为豆粒^[15-16],但是以宏观沉积环境与粒度作为包壳粒分类依据的方法显然存在一定局限性,现今关于包壳粒类型的研究更侧重成因作用机制的分类原则^[17-18]。由于生物作用的重要成因意义,在钙华包壳粒中

具有显而易见的生物成因特征多被归属为核形石^[12,16]。对于碳酸盐岩鲕粒或核形石而言,两者在形态与结构方面既有类似之处,也有成因机制差异化的特点,然而依据已有分类方法对包壳颗粒进行分类与成因判识时往往会产生不同的结论,随着越来越多新的陆相环境中包壳沉积颗粒的发现,需要对类型丰富的包壳粒分类体系展开进一步的环境与成因作用机制的精细研究。

四川岷山地区发育有典型的高寒型钙华景观,位于雪宝顶北麓的黄龙地区是其中主要的分布区^[19-21]。在黄龙地区开展野外调查过程中,新发现一处钙华成因的鲕状包壳粒沉积,因其细观结构特征类似于鲕粒,故将其暂定为鲕状钙华包壳粒。本文拟通过对高寒区鲕状钙华包壳粒的深入研究,进一步丰富与扩展钙华沉积微观结构与构造型式,以期陆相包壳粒成因机制研究提供参考。

基金项目:国家自然科学基金项目(41877288,41973053,41572035)

第一作者简介:崔杰(1977—),男,博士,讲师,研究方向:沉积学与灾害地质学。E-mail:cuijie@swust.edu.cn。

通信作者:代群威(1978—),男,博士,教授,研究方向:环境污染调控与生态修复。E-mail:qw_dai@163.com。

收稿日期:2020-09-20

1 研究区地质背景

研究区位于世界自然遗产地黄龙自然保护区核心地带,以雪宝顶北麓黄龙沟、二道海、扎尕沟、张家沟等冰川沟为主,发育规模罕见的地表钙华景观^[20]。该区域处于西秦岭造山带摩天岭地块与松潘甘孜造山带交汇区,中部以雪山断裂带为界,两侧分别属于雪宝顶推覆构造带与九寨沟褶皱推覆构造带,发育望乡台弧形断裂等一系列东西向逆冲断层,区域内岩性具有分片性特征,即望乡台断裂以南主要为泥盆系至二叠系的可溶性碳酸盐岩地层,其北侧低海拔区则发育三叠系至石炭系的砂岩、板岩等非可溶性地层^[22](图1)。

受控于有利的地质构造、岩性组合与地貌条件,在高寒区的风化溶蚀、寒冻及生物作用等因素控制下形成了大规模地表钙华,构成石坝、滩华、瀑华等类型多样的钙华微地貌类型^[18],钙华沉积构造保存完好,为现代陆相钙华成因的包壳粒成因作用研究提供了绝佳场所。

2 鲕状钙华宏观沉积特征

在雪宝顶北麓黄龙大湾地区进行钙华调查中,

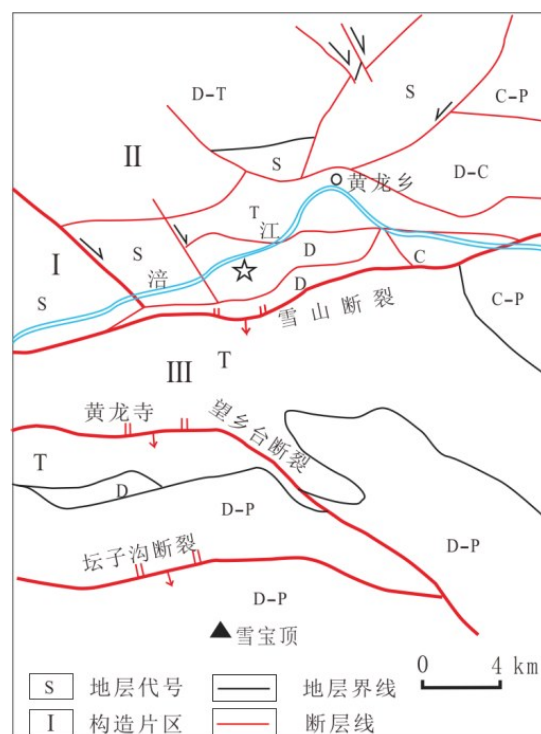


图1 黄龙地区构造背景图

Fig. 1 Map showing tectonic setting of the Huanglong area
I—九寨沟褶皱推覆构造 II—雪山断裂带 III—雪宝顶推覆构造岩片

发现在沟口洪积扇中部发育了一套特殊的钙华成因的鲕状包壳粒沉积层(图1)。这一区域的钙华沉积



图2 鲕状钙华宏观沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of oolitic travertine

a. 洪积扇堆积体中部的层状钙华与底部鲕状钙华层位 b. 鲕状钙华正粒序堆积特征 c. 次圆状、椭圆状鲕状钙华 d. 不规则次圆状、椭圆状鲕状钙华

是以层状钙华或者杂乱堆积钙华为主要形式,层状钙华沉积发育厚度为1.3~3.0 m,具有明暗相间韵律层,呈平行状、同心包卷状、共心包卷状等多种层形(图2a),并与上游主沟沟道中的层状钙华具有很好的可对比性^[23]。鲕状钙华包壳粒呈透镜状产出于层状钙华沉积的底部,富集层发育厚度为5~20 cm,局部与砂屑、砾屑呈杂乱堆积,包壳粒粒度表现出由底至顶正粒序堆积的特点(图2b)。

通过系统采样剖面 and 观测,发现包壳粒形态多呈光滑的球粒状、豆粒状(图2c),按照颗粒形态的发

育程度主要分为次圆、椭圆及不规则球状等(图2d),包壳粒粒径分布的主要区间为1~10 mm。鲕状颗粒外壳颜色为白色、浅黄色及浅灰色,粒间则以方解石胶结为主,粒间孔隙十分发育。

3 鲕状钙华微观特征

研究区的鲕状钙华包壳粒皆为有核类,单个包壳粒结构由核部与外壳层两部分组成。按照微观结构特征,可将鲕状钙华包壳粒分为同心圆状、同心圆—放射状、薄壁同心圆状3种基本类型(图3)。

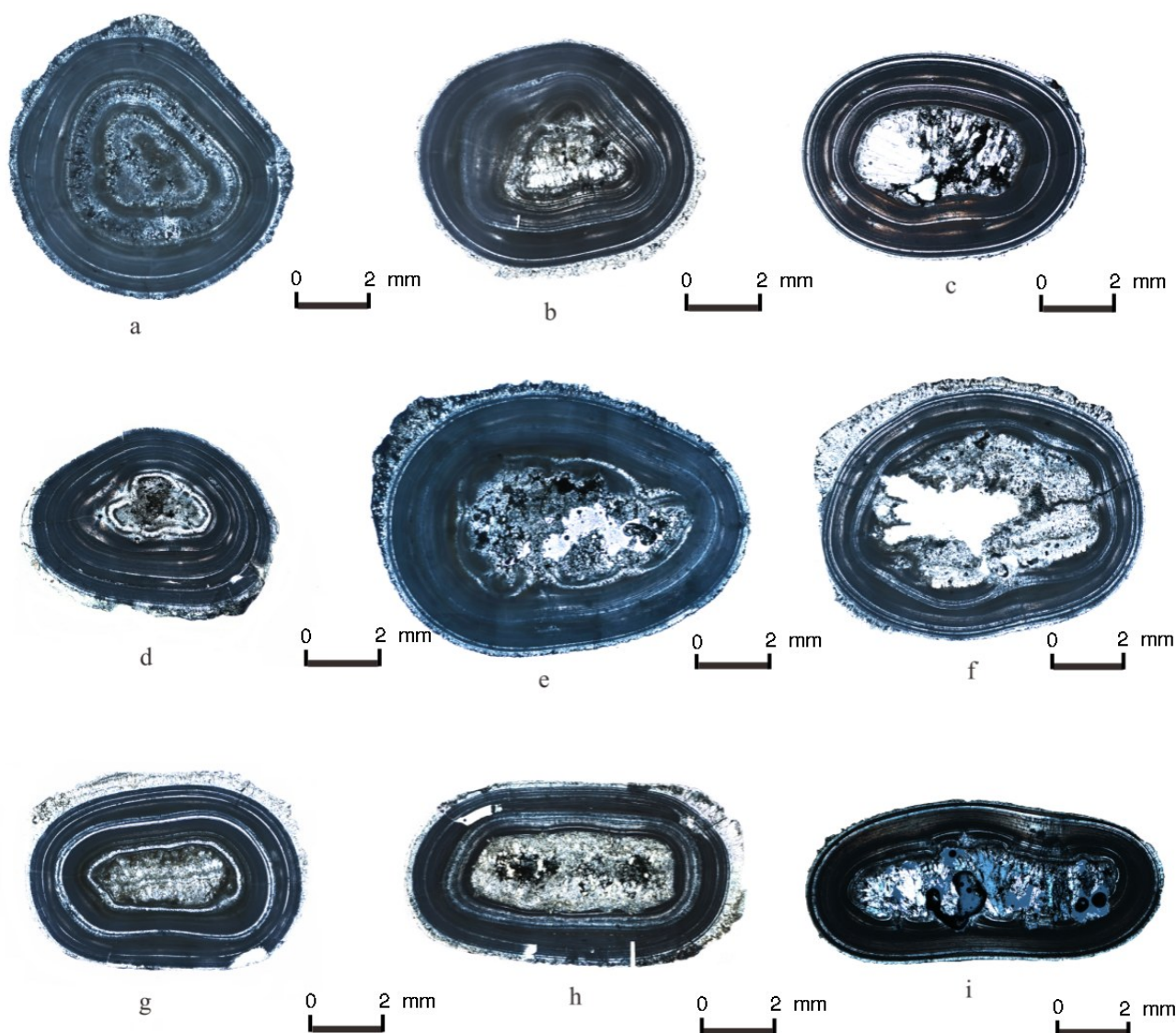


图3 鲕状钙华包壳粒基本类型

Fig. 3 Basic types of oolitic travertine coated grain

a. 次圆状同心圆—放射状包壳粒,核部规模较小 b. 次圆状同心圆包壳粒,核部为叠层状钙华 c. 次圆状薄壁同心圆包壳粒,核部为板状方解石 d—e. 椭圆状、次椭圆状同心圆包壳粒,核部为含硅藻团块的生物钙华碎屑,具亮晶套结构 f. 椭圆状薄壁同心圆包壳粒,核部为生物碎屑钙华 g. 椭圆状同心圆包壳粒,核部为层状钙华 h. 次椭圆状同心圆包壳粒,核部为生物钙华碎屑 i. 次椭圆薄壁状同心圆包壳粒,核部为层状钙华碎屑

3.1 同心圆状包壳粒

同心圆状包壳粒颗粒形态主要为同心次圆状、同心椭圆状、同心次椭圆状等,且外壳层占比通常远大于核部占比。

(1) 核部特征

核部成分主要由钙华碎屑、生物碎屑、纹层钙华或鲕状钙华碎屑等类型及其组合构成,其粒径通常为1~8 mm,具有如下基本特点:①钙华颗粒碎屑由粉

粒或粗粒方解石晶体构成(图4a),晶形为板状或柱状;②生物钙华碎屑核部主要包括硅藻、丝状藻或者席藻,镜下可见硅藻团聚现象与丝状藻钙化特征等生物构造(图4b,图4c,图4d);③与鲕粒或核形石核部常见的“泥晶套”不同^[8],部分包壳粒核部边缘发育有等厚连续的“亮晶套”构造(图4e),亮晶套包裹结构总体完整,局部存在缺损现象;④少部分由鲕粒钙华或层状钙华碎屑经胶结作用构成核部,但并非复鲕的形式(图4f)。

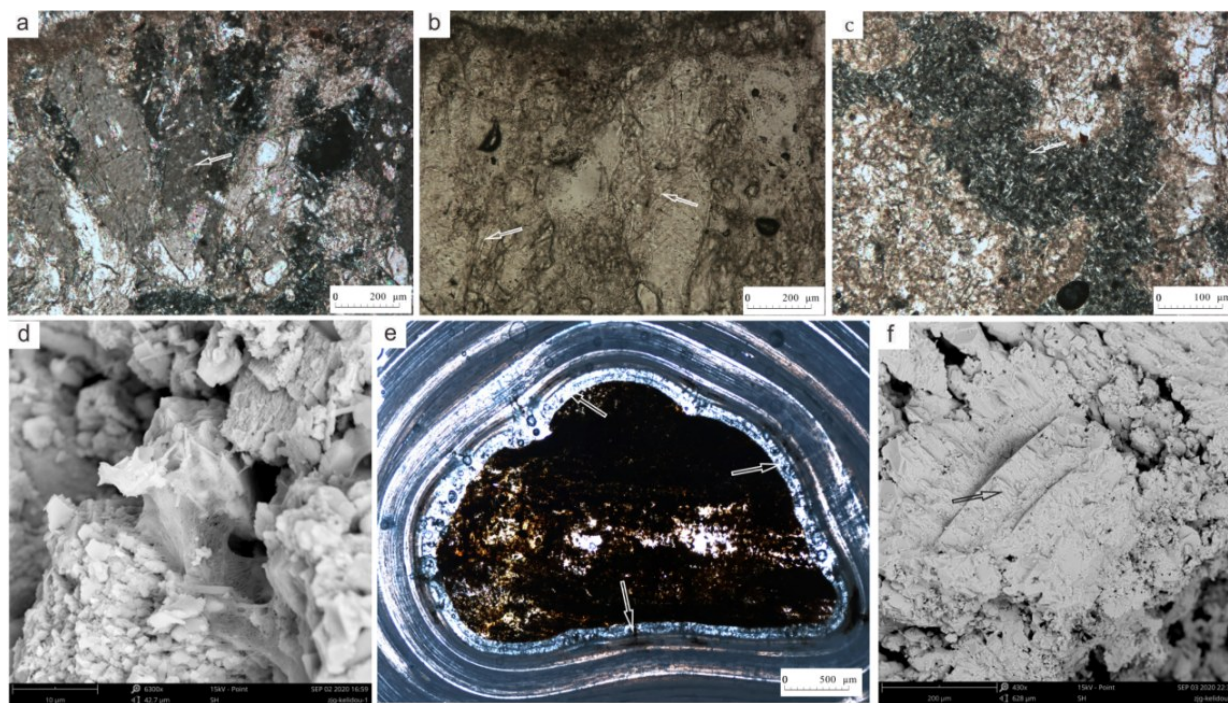


图4 鲕状钙华包壳粒核部微观特征

Fig. 4 Microstructure characteristics of core of oolitic travertine coated grain

a.核部为方解石构成的钙华碎屑颗粒类型(正交偏光 $\times 10$) b.核部为生物钙华碎屑类型,可见丝状藻(单偏光 $\times 10$) c.核部为生物钙华碎屑类型,可见硅藻团聚结构(正交偏光 $\times 20$) d.核部的SEM镜下可见丝状藻及其聚合物特征 e.核部为生物钙华碎屑,外侧可见亮晶套结构 f.核部为鲕状钙华碎屑颗粒类型

(2) 外壳层特征

外壳层由泥晶与微亮晶两类纹层构成圈层结构,圈层数量可达数10层,镜下呈暗色、亮色交互的细密圈层。其中泥晶纹层单层厚度为1~3 μm ,微亮晶圈层厚度在3~10 μm 。

该类型外壳层典型特征包括:①泥晶圈层外侧或泥晶圈层间的沉积间断界面通常平滑清晰(图5a),显示出微层理面特征(图5b),发育有龟裂纹现象;②通常亮晶圈层由单个平行排列的板状、柱状亮晶方解石构成(图5c),晶体长轴方向垂直于纹层面,亮晶方解石内侧与泥晶层呈可能的世代关系接触(图5d,图5e),而微亮晶圈层外侧界面往往凸凹不

平,常有晶间孔隙并由泥晶充填(图5f,图5g);③泥晶或微亮晶圈层均可出现横向尖灭现象或者呈透镜状(图5h),往往在凹陷区出现明显纹层加积增厚(图5i);④通过能谱分析,包壳粒外壳层中泥晶纹层与亮晶方解石纹层具有接近一致的元素成分,均主要为O、C、Ca构成的低镁方解石(图6)。

3.2 同心圆—放射状包壳粒

同心圆—放射状包壳粒的核部结构与组分和同心圆状包壳粒的核部特征基本一致。

这类包壳粒的外壳层由内至外存在明显差异。内侧部分由放射状方解石亮晶构成,晶形呈纤维状、

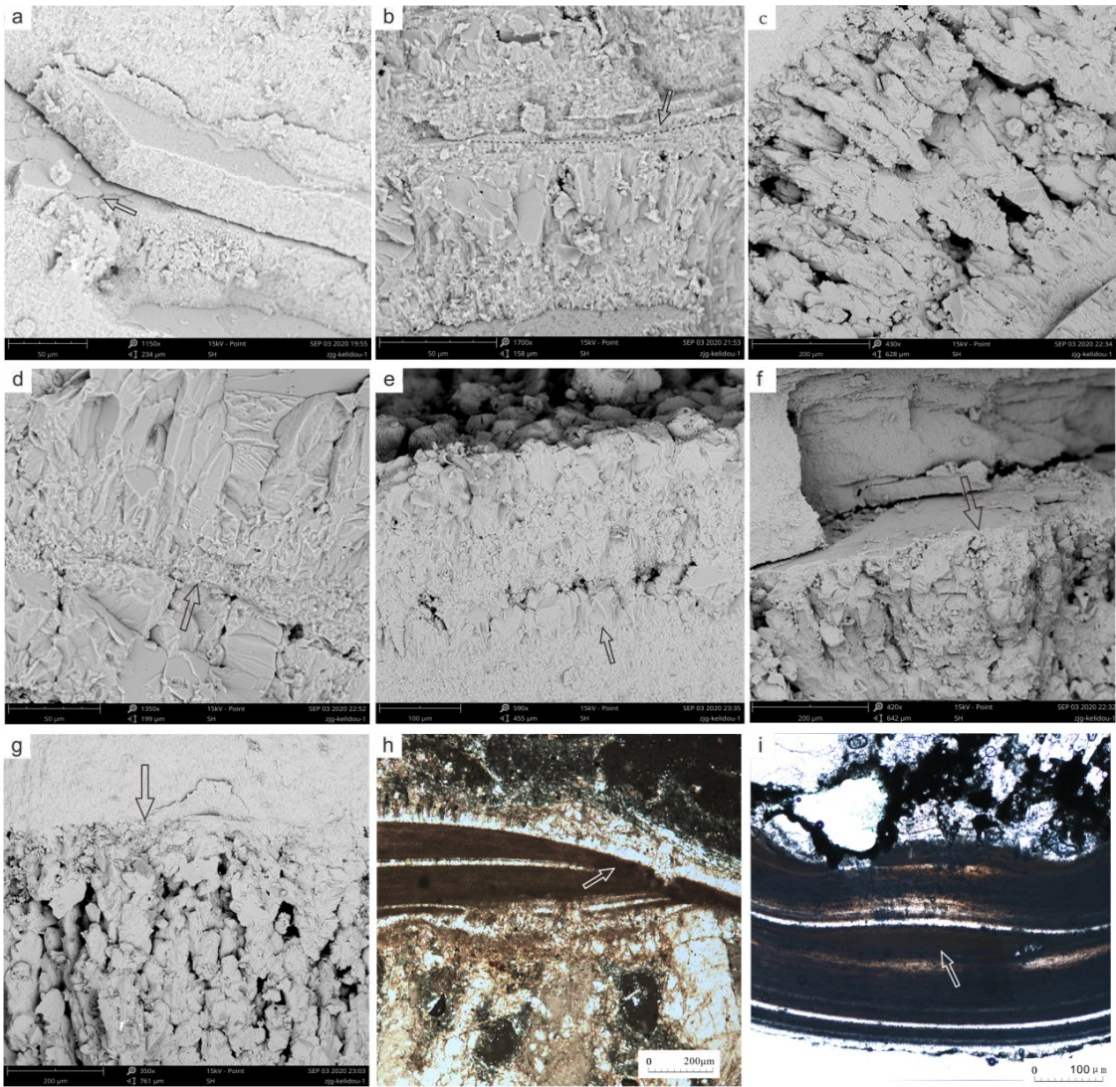


图 5 鲕状钙华壳层组构微观特征

Fig. 5 Microscopic characteristics of fabric of oolitic travertine coated grain

a. 泥晶圈层面发育平整,层面收缩干裂现象 b. 泥晶圈层纹层发育,存在微层理面侧向尖灭现象 c. 亮晶圈层柱状方解石 d-e. 微亮晶底部与泥晶之间存在世代生长关系 f. 亮晶圈层外侧界面凸凹不平,充填泥晶后机械磨蚀成平整界面 g. 亮晶圈层与泥晶圈层界面特征 h. 光学显微镜下亮晶圈层与泥晶圈层的侧向尖灭现象 i. 外壳层底部泥晶圈层侧向增厚呈透镜体状

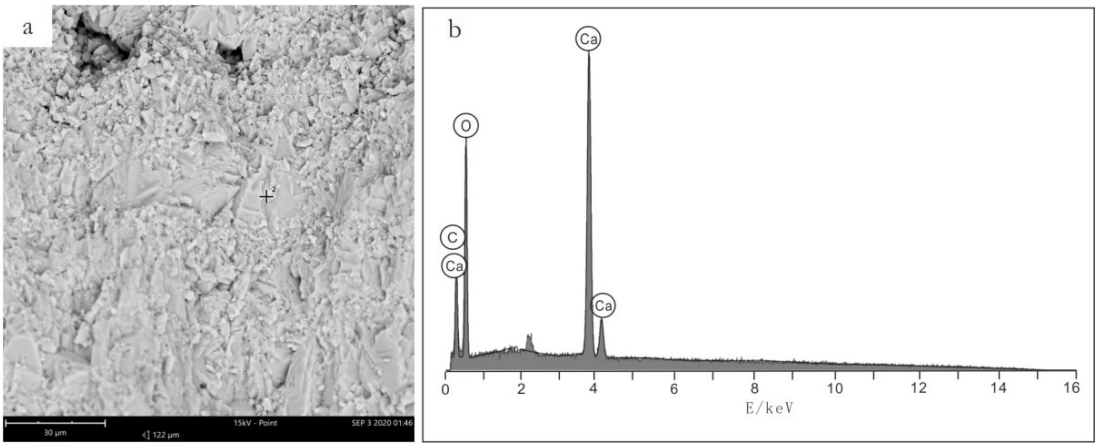


图 6 钙华包壳粒的扫描电镜(a)与能谱分析(b)

Fig. 6 SEM (a) and EDS (b) energy spectra analysis of oolitic travertine coated grain

板状(图 7a),单晶长轴长度为 50~200 μm ,SEM 镜下显示出放射状亮晶主要呈长柱状或棒状形态,晶体排列或紧密或较松散,晶间通常存在较多孔隙,因而其特征与某些海相鲕粒十分相似^[1],相邻亮晶矿物圈层间由泥晶圈层相隔;外壳层外侧部分则主要是由微亮晶与泥晶构成典型圈层结构。

3.3 薄壁同心圆状包壳粒

(1) 核部特征

薄壁同心圆状包壳粒的核部占比通常远大于外壳层。核部多由生物钙华碎屑颗粒、亮晶方解石钙

华或者碎屑组合等构成,与其他类型包壳粒差异之处在于:①由于包壳粒形态多呈次椭圆或扁球状,因而核部边缘结构往往更加破碎,形成似破火山口状塌陷构造;②核部外围的部分区域发育有“亮晶套”且多不完整,普遍有破碎化现象。

(2) 外壳层特征

与同心状包壳粒一致,即是由泥晶、微晶与亮晶构成同心圈层状(图 3f),另一类则是以放射状、板状亮晶方解石为主要同心状圈层类型,并与少部分泥晶一起构成以亮晶为主的双圈层结构(图 7b)。

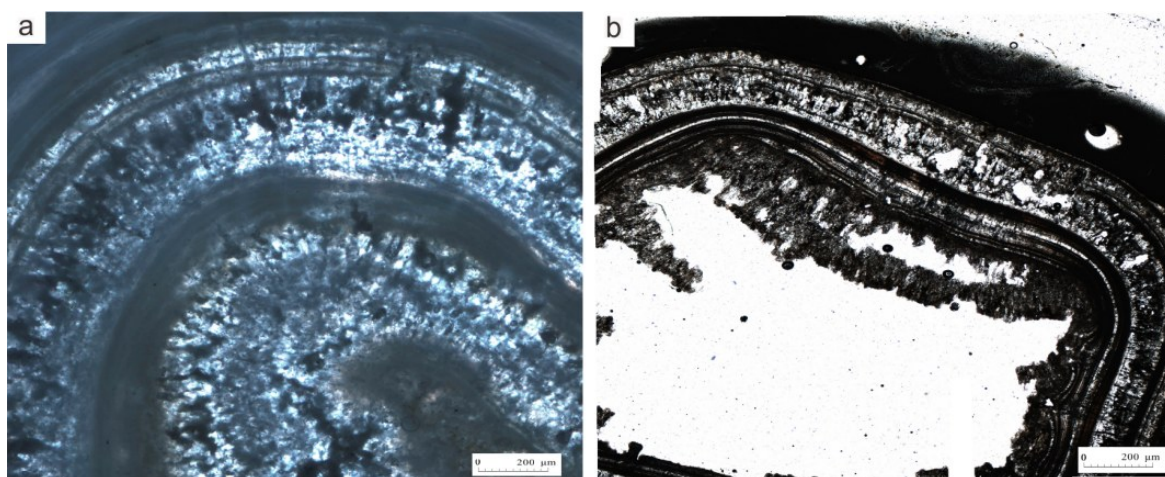


图 7 鲕状包壳粒外壳层结构类型

Fig. 7 Structure types of outer crust of oolitic travertine coated grain

4 鲕状钙华包壳粒的成因

黄龙地区钙华形成与演化受本区域内特定的水动力、水化学以及生物作用控制,生物作用体现在钙华结壳作用、分泌作用、成核作用、黏结作用等方面^[24-27],在晶体矿物学特征上也存在可能的生物成因证据^[28]。在微地貌、温度、光照等因素影响下形成丰富的钙华沉积形态与结构,“气泡效应”与“薄水效应”是微地貌凸出区域高速水流导致的钙华晶体生长的主要模式^[29-30],通常钙华沉积速率是由与流速有关的扩散边界层的厚度决定,并与方解石饱和指数有关^[31-32]。因此,研究区鲕状钙华包壳粒的形成既有钙华形成的普遍要素特性,也有其区别于其他钙华微沉积构造的特定环境及其演化方式。

4.1 核部成因环境

通过前述包壳粒核部的微观特征分析,包壳粒核部结构类型丰富,主要是由原地或异地早期形成

的钙华碎屑颗粒构成,包括层状钙华、鲕状钙华、生物钙华等类型,因而与泉华中核形石核部普遍为生物成因结构之间存在明显差异。此外,核部外围发育“亮晶套”,微观结构显示最初的核部破碎状颗粒表面形态凸凹不平,这类地表微起伏形态使得水流在颗粒周围绕流过程中可以形成大量的微小涡流和气泡现象,在气泡效应下围绕核部表层发生快速的沉淀结晶,因而微地貌影响下的水动力控制是亮晶套形成的主要成因。

4.2 外壳结构成因环境

钙华包壳粒形成的沉积环境既包含有浅水高能的动荡水流环境,也包括相对深的静水环境,生物作用方式也有明显差异性,同时也受温度、光照影响,不同晶体圈层具有不同的成因环境特征,根据外壳层的微观组构特征分析成因作用:

(1)泥晶与微亮晶交互的圈层结构,更多地反映

了水环境的差异性,如相对浅的、高能的动荡水流环境,这一阶段包壳粒在高速水流中以悬跃式滚动为主,水流在包壳粒周围的快速绕流过程中产生负压效益,从而产生 CaCO_3 亮晶矿物的沉淀,这一水动力环境可能是微亮晶圈层形成的水动力条件;

(2)泥晶圈层可能主要形成于相对深的静水环境中,这一阶段包壳粒表现为间歇悬移或者推移式滚动的运动状态,在相对弱的水动力作用影响下,水体中各种微小钙华颗粒被吸附在包壳粒周围形成泥晶圈层,吸附作用可能主要由微生物席产生^[26];

(3)泥晶圈层具有平行层状与透镜状等微层理构造特征,可能是水流作用下泥晶圈层遭受水流机械改造的结果。部分泥晶层外侧平整的界面上观察到发育似龟裂状构造现象,推测是泥晶或微亮晶圈层外侧均遭受机械磨圆作用,并在地表空气中暴露圈层失水收缩所造成,同时也不排除冻融作用的影响。上述特征对应了圈层可能存在频繁的环境波动状态。

5 结 论

(1)黄龙地区鲕状钙华包壳粒沉积物堆积在冲洪积扇体中部,鲕状钙华并非完全由原地形成,可能部分是上游钙华碎屑通过水流搬运过程逐渐生长形成鲕状钙华包壳粒,富集后形成层状构造;

(2)鲕状钙华包壳粒类型包括同心圆状、同心圆—放射状、薄壁同心圆状3种基本圈层类型。每种类型的钙华包壳粒核部基本由各类钙华碎屑颗粒或者集合体构成,主要为早期的钙华沉积物破碎形成,钙华包壳粒核部外围发育的“亮晶套”是其重要结构特点;

(3)钙华包壳粒外壳层由泥晶与微亮晶两类主要矿物纹层组成并呈互层状,构成典型的圈层结构,圈层的形成主要与水动力环境影响控制有关,静水环境下可能以泥晶沉淀生长为主,但微观结构显示泥晶圈层的生物作用特征不发育;圈层结构中的微层理构造发育,体现出水动力作用所产生的侵蚀、磨蚀作用对包壳粒形态与结构的重要意义;

(4)由于水体环境与水动力作用对鲕状钙华包壳粒形成具有重要意义,研究区鲕状钙华应归属于鲕粒包覆沉积类型,并与陆相热泉中形成的典型核形石类包覆颗粒构造相区别。

参考文献

- [1] Tucker M E, Wright V P. Carbonate Sedimentology [M]. Oxford: Blackwell Sciences, 1990.
- [2] 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论 [M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [3] Li F, Yan J, Algeo T, et al. Paleooceanographic conditions following the end-permian mass extinction recorded by giant ooids (Moyang, South China) [J]. Global and Planetary Change, 2013, 105(S1): 102-120.
- [4] 梅冥相. 鲕粒成因研究的新进展 [J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 20-32.
- [5] Brehm U, Krumbein W, Palinska K A. Biomicrospheres generate ooids in the laboratory [J]. Geomicrobiology Journal, 2006, 23(7): 545-550.
- [6] 韦龙明. 菌藻对碳酸盐颗粒的泥晶化作用研究: 以滇西保山地区下石炭统研究为例 [J]. 沉积学报, 1995, 13(3): 89-97.
- [7] 周瑶琪, 张晗, 张振凯. 海相碳酸盐鲕粒形成过程的模拟实验研究 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2017, 41(3): 23-30.
- [8] 梅冥相. 显生宙罕见的巨鲕及其鲕粒形态多样性的意义: 以湖北利川下三叠统大冶组为例 [J]. 现代地质, 2008, 22(5): 683-698.
- [9] Braithwaite C J R. Crystal textures of recent fluvial pisolites and laminated crystalline crusts in Dyfed, South Wales [J]. Journal of Sedimentary Research, 1979, 49(1): 181-193.
- [10] Donahue J. Laboratory growth of pisolite grains [J]. Sediment Petrol, 1965, 35(1): 251-256.
- [11] Braithwaite C. Crystal textures of recent fluvial pisolites and laminated crystalline crusts in dyfed South-Wales [J]. Sedimentary Petrology, 1979, 49(1): 181-193.
- [12] 吴驰华, 伊海生, 惠博, 等. 一种包覆颗粒沉积新类型: 鲕状泉华 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(11): 2406-2418.
- [13] 翁金桃, 茹景文. 穴珠 [J]. 中国岩溶, 1982, 1(1): 58-65.
- [14] Charlotte S, Denys B S, Edward S. Spring peas from New York State: Nucleation and growth of fresh water hollow oolites and pisolites [J]. Sedimentary Petrology, 1981, 5(1): 1341-1346.
- [15] 赵东旭. 鲕粒、豆粒磷块岩的显微结构和生成特点 [J]. 岩石学报, 1989(4): 66-75.
- [16] 杜圣贤, 李越, 宋香锁, 等. 山东平邑盆地卞桥组 (晚白垩世马斯特里赫特晚期) 泉华成因的核形石 [J]. 微体古生物学报, 2016, 33(3): 325-333.
- [17] 王洁, 宋玉萍. 从巨鲕的概念窥视碳酸盐岩包覆颗粒的研究 [J]. 大庆石油地质与开发, 2010, 29(2): 40-43.
- [18] 梅冥相. 微生物碳酸盐岩分类体系的修订: 对灰岩成因结构分类体系的补充 [J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 222-234.
- [19] 刘再华, 袁道先, W. Dreybrodt, 等. 四川黄龙钙华的形成 [J]. 中国岩溶, 1993, 12(3): 185-191.
- [20] 朱学稳, 张任, 周续伦. 川西岷山岩溶的基本特征 [J]. 中国岩溶, 1998, 17(4): 49-55.
- [21] 陈先, 朱学稳, 周续伦. 黄龙风景区岩溶水及泉华沉积的同位

- 素研究[J]. 中国岩溶, 1988, 7(3): 209-212.
- [22] 曹俊, 刘旗. 雪山断裂带[J]. 四川地质学报, 2001, 21(4): 199-204.
- [23] 王华, 杨更, 覃嘉铭, 等. 四川黄龙大湾—张家沟钙华沉积剖面的古气候记录研究[J]. 地球学报, 2007, 28(5): 469-474.
- [24] 田友萍, 何复胜. 石灰华的生物成因研究[J]. 中国岩溶, 1998, 17(1): 49-55.
- [25] Ford T D, Pedley H M. A review of tufa and travertine deposits of the world[J]. Earth Science Reviews, 1996, 41(3-4): 117-175.
- [26] 汪智军, 殷建军, 蒲俊兵, 等. 钙华生物沉积作用研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2019, 34(6): 606-617.
- [27] 郭云, 支崇远, 赵宇中, 等. 硅藻对地表石灰华沉积的生物作用及其意义[J]. 上海地质, 2007(1): 21-24.
- [28] 孙仕勇, 王富东, 赵学钦. 四川黄龙钙华沉积剖面的矿物学特征及其指示意义[J]. 地球科学前缘, 2016, 6(4): 283-290.
- [29] 张英骏, 莫仲达. 黄果树瀑布成因初探[J]. 地理学报, 1982, 37(3): 305-316.
- [30] 程星. 薄水效应初论[J]. 中国岩溶, 1994, 13(3): 207-212.
- [31] 刘再华, 袁道先, 何师意, 等. 四川黄龙沟景区钙华的起源和形成机理研究[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 1-10.
- [32] 刘再华, 何师意, 曹建华. 方解石溶解、沉积速率控制的物理、化学机制[J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 75.

Discovery and feature of oolitic coated grains of travertine in the Huanglong area, Sichuan

CUI Jie¹, DAI Qunwei¹, WANG Fudong¹, DONG Faqing¹, SONG Tao¹, DANG Zheng²

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. School of Applied Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract In the Huanglong area of the Xuebaoding watershed, oolitic coated grains of alpine travertine were newly discovered. It is a continental cladding grain type with coating sedimentary structure, which formed in a cold environment with high elevation. Through systematic sampling and classification of the sedimentary profiles of travertine coated grains, with the help of conventional microscopes, scanning electron microscopes, energy spectrum testing and other technical means, this work reveals the mineral composition of these oolitic travertine coated grains. These particles can be divided into three basic types, concentric circle layer, concentric circle-radial circle layer, and thin-walled concentric circle layer. The core of the encapsulation particle is composed of ex-situ travertine clastics. The outer shell of the coated grains developed a ring structure composed of different mineral combinations such as mud crystals and micro-shiny crystals. Composition, micro-microbial structure and calcification characteristics are not obvious. According to the morphology and microstructure characteristics of the coated grains, it is speculated that the micrite ring layer in the shell might be formed in a relatively deep static water environment, and the sprite ring layer was formed in a shallow water high-energy environment. Research suggests that the genesis of the oolitic travertine coated grains in the study area tends to be oolitic rather than oncolite.

Key words Huanglong area, travertine, coated grain, radial-concentric structure

(编辑 黄晨晖)