

文章编号: 1000-0550(2013)01-0001-09

四川江油马角坝地区船山组核形石基本特征及其环境意义^①

徐锦龙^{1,2} 洪天求¹ 贾志海¹ 王伟¹ 罗雷¹

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院 合肥 230009; 2. 安徽省地质调查院 合肥 230001)

摘要 四川江油马角坝地区船山组核形石十分发育,类型多样。基于对其内部显微结构的研究发现核形石核心和纹层各有5种类型,并伴随有3种圈层“构造”。基于对其核心、纹层和形态的研究将研究区核形石分为大球状核形石、小球状核形石、长棒状核形石、帽状核形石、不规则状核形石和复合核形石等6大类,并将它们划分成3种沉积环境,即台地边缘滩、开阔台地和局限台地,并探讨了碳酸盐岩地层中核形石的分布、形成环境和沉积环境的耦合关系。高含量、大颗粒、纹层厚度大于核心厚度、纹层复杂、核心组分与基质组分存在较大差异、亮晶胶结的核形石的形成环境与沉积环境不一致,即核形石形成于水动力较弱的局限台地或开阔台地环境,强水动力使核形石发生磨圆,基质生物碎屑破碎,进而沉积于水动力较大的台地边缘滩环境。中等含量、中等粒度、纹层简单、与完整生物碎屑共存且粒径类似、亮晶胶结的核形石的形成环境与沉积环境类似,即部分生物碎屑在中等水动力条件下,处于悬浮状态,捕获和粘附碳酸盐质点,当个体增大和水体环境变化时,核形石就地沉积于中等能量的开阔台地环境。含量低、粒径变化大、纹层厚度小于核心厚度、纹层简单、形状易受核心的影响、纹层外壳凹凸不平、基质生物含量低、泥晶基质含量特别高的核形石的形成环境与沉积环境一致,即形成并沉积于水动力偏弱的局限台地环境。

关键词 核形石 分类 形成环境 沉积环境 船山组 江油马角坝地区

第一作者简介 徐锦龙 男 1985年出生 助理工程师 古生物学与地层学 E-mail: xujinlong0909@126.com

通讯作者 洪天求 E-mail: hongtianqiu@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

核形石(Oncoids)作为包壳粒的一种,曾有多种称谓,如藻灰结核(Oncoids)^[1,2]、藻鲕(algal oolites)、藻豆粒(pisolites)^[3]、藻球(algal balls)、藻饼(algal biscuits)^[4]、叠层石SS型(stromatolites)^[5]等,均说明了其与菌藻类生物活动有密切的关系。地质历史中核形石的分布十分广泛,从震旦纪到现代,从浅海到深海,从海洋到内陆湖泊均有出现,大小从数微米到数十厘米不等,由核心和纹层两个基本单元组成,其组分主要为灰质和少量磷质、铁质及锰质等,形状有圆形、椭圆形、长棒状和不规则状等^[6]。从上世纪早期到现在,不少学者对其结构构造和其成因进行了研究,并取得了丰富的成果^[2,3,7~14]。

我国华南上石炭统船山组中普遍发育俗称“船山球”的核形石灰岩,分布范围广、数量多、沉积厚度1~20 m不等,已成为研究石炭—二叠纪地层划分和对比的标准因子^[15]。四川江油马角坝地区船山组发育丰富的核形石颗粒灰岩,局部形成至少13层生物

碎屑灰岩—核形石灰岩旋回层,其中下部11层核形石从无到有,含量逐渐增加,粒径逐渐变大;上部2层核形石与之相反,反映了海平面的周期性变化。通过对核形石的镜下薄片观察和扫描电镜的分析发现,研究区的核形石既具有扬子区船山组核形石的共同特点,同时又具有其独特性。

1 区域地质概况

研究区位于龙门山推覆构造带的北段(图1),石炭纪处于扬子板块西缘的半封闭海湾环境,发育一套以局限—半局限台地和开阔台地相为主的碳酸盐岩沉积^[16]。船山组以灰白色厚层生物碎屑灰岩和核形石灰岩组成良好的旋回层,含丰富的鲕、非鲕有孔虫、藻类、腕足类和棘皮动物等化石。从岩性组合、沉积特征及总体水体向上变浅的垂向沉积序列看,船山组是海平面周期性变化,海水不断变浅,沉积物供给较为充足的条件下形成的。它的发育和演化受马平期

^①国家973前期预研项目《川东地区晚二叠世隐伏生物礁的识别及其对油气储集的控制研究》(编号2010CB434809)资助
收稿日期:2012-03-05; 收修改稿日期:2012-04-24

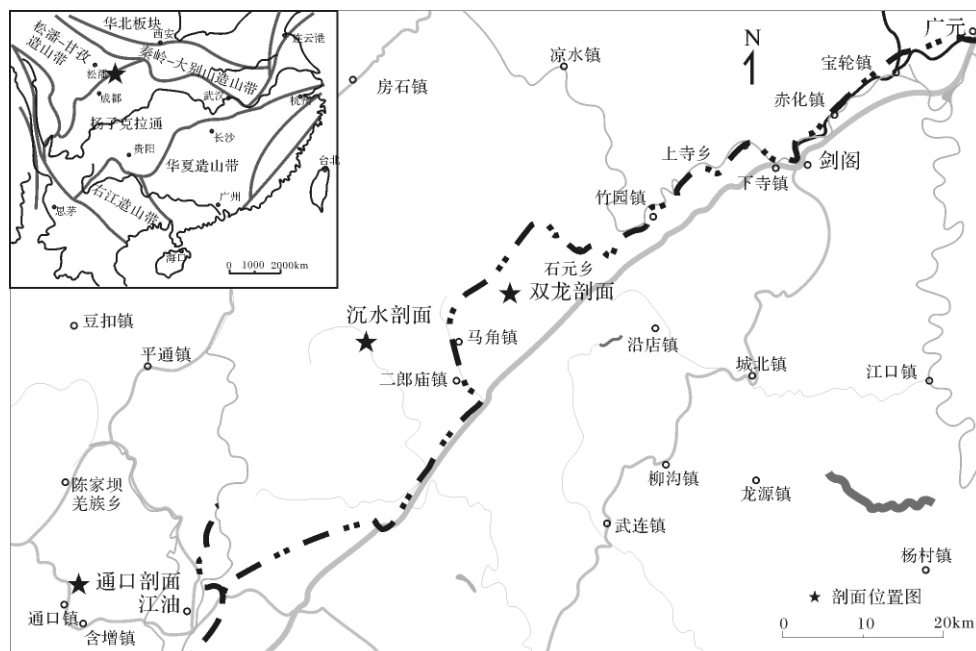


图1 研究区交通及剖面位置图

Fig. 1 Sketch map of the traffic and profile position of the study area

周期性冰川事件、区域构造和物源的控制。

研究区船山组核形石灰岩主要产于开阔台地—台地边缘浅滩环境,且不同剖面存在一定的差异。在沉水剖面见至少13层生物碎屑灰岩—核形石灰岩旋回层(单层厚约0.8 m);在双龙剖面见多层核形石灰岩密集层(图2-a、b、c)(单层厚度超过5 m);在通口剖面仅见1层核形石灰岩(厚1.5 m),颜色深,泥质含量高。研究区多层生物碎屑灰岩—核形石灰岩旋回层的出现可能与晚石炭世全球冰期活动有密切的关系^[17-19]。

2 核形石的基本特征

核形石的基本特征包括外部形态特征和内部显微结构特征。核形石的外部形态是核形石分类的基础,核形石的内部显微特征(核心结构、纹层类型和圈层“构造”)是划分核形石类型、推断沉积环境和形成机制的重要依据。

2.1 核心

核形石由核心和纹层两个基本单元组成,核心结构是核形石形成的基础。核心物质在波浪、潮流、倾斜的沉积底质上由重力或动物啃啮微生物膜的作用下,粘附和捕获碳酸盐质点,形成质点纹层围绕核心呈层状分布。研究区发育的核心主要由生物碎屑(有孔虫、腕足类、棘皮动物和藻类等)(图2-d)、内

碎屑(图2-e)、重结晶的生物碎屑(图2-f)、球粒或早期核形石组成的球状体(图2-g)和含藻泥晶结构体(图2-h)等组成。核心的组分、粒径和密度与水动力条件一起决定了核心呈悬浮状或固着水底,进而影响纹层的发育和核形石的整体形态。核心的物质组分可大体判断核形石的形成环境。如核心为完整的生物碎屑、以窄盐度的有孔虫、腕足类、藻类和棘皮动物为主,代表核形石形成于开阔台地中低能环境。核心物质的形状影响着核形石形成初始阶段的纹层形状及外部形态,随着纹层厚度增大,核心的影响逐渐减弱。

2.2 圈层与纹层

纹层是核心的包裹物质,是核形石研究的重点。单元纹层的类型和成因是判定核形石形成环境的重要指标^[20]。研究区核形石的包壳中,纹层类型十分复杂,即使用肉眼也能观察到部分核形石表面呈现深浅不同的多种纹层交织叠覆现象。根据单元纹层的特征可将其分为泥晶纹层、亮晶纹层、凝块状纹层、含生物纹层和微生物纹层等5大类。

A 泥晶纹层(图2-f、g):核形石中最常见,手标本下呈暗色,镜下由暗色泥晶方解石组成,少数富含有机质颜色变深,多数为半连续、不等厚状纹层,少数为连续、等厚状纹层,纹层厚0.05~0.2 mm,交织出现在核形石的各个圈层中,构成一个统一的有机整体。

由于受到后期成岩作用的影响,纹层的圈数已模糊不清。核心或核形石处于悬浮状态,捕获和吸附碳酸盐质点,藻类的光合作用有利于半连续状纹层的形成,频繁与底质接触发生翻转,构成良好的圈层,反映了强水动力的作用。

B 亮晶纹层(图 2-f, j): 由亮晶方解石组成,一般厚度较小,半连续状为主,纹层厚度变化不大,常分布于泥晶纹层的外围,其形成可能是生物、生物化学和

物理条件共同作用的结果,也可能是泥晶等纹层发生重结晶作用的结果。

C 凝块状纹层(图 3-d): 由杂乱的含藻类泥晶方解石组成,较致密,厚度变化较大,不规则,颗粒边缘不清楚,常见 50~100 μm 大小的被亮晶方解石充填的亮点,呈海绵状构造。以上特征说明纹层形成于水动力较弱的环境,颗粒未发生连续滚动,呈悬浮状粘附和捕获碳酸盐颗粒和生物碎屑。

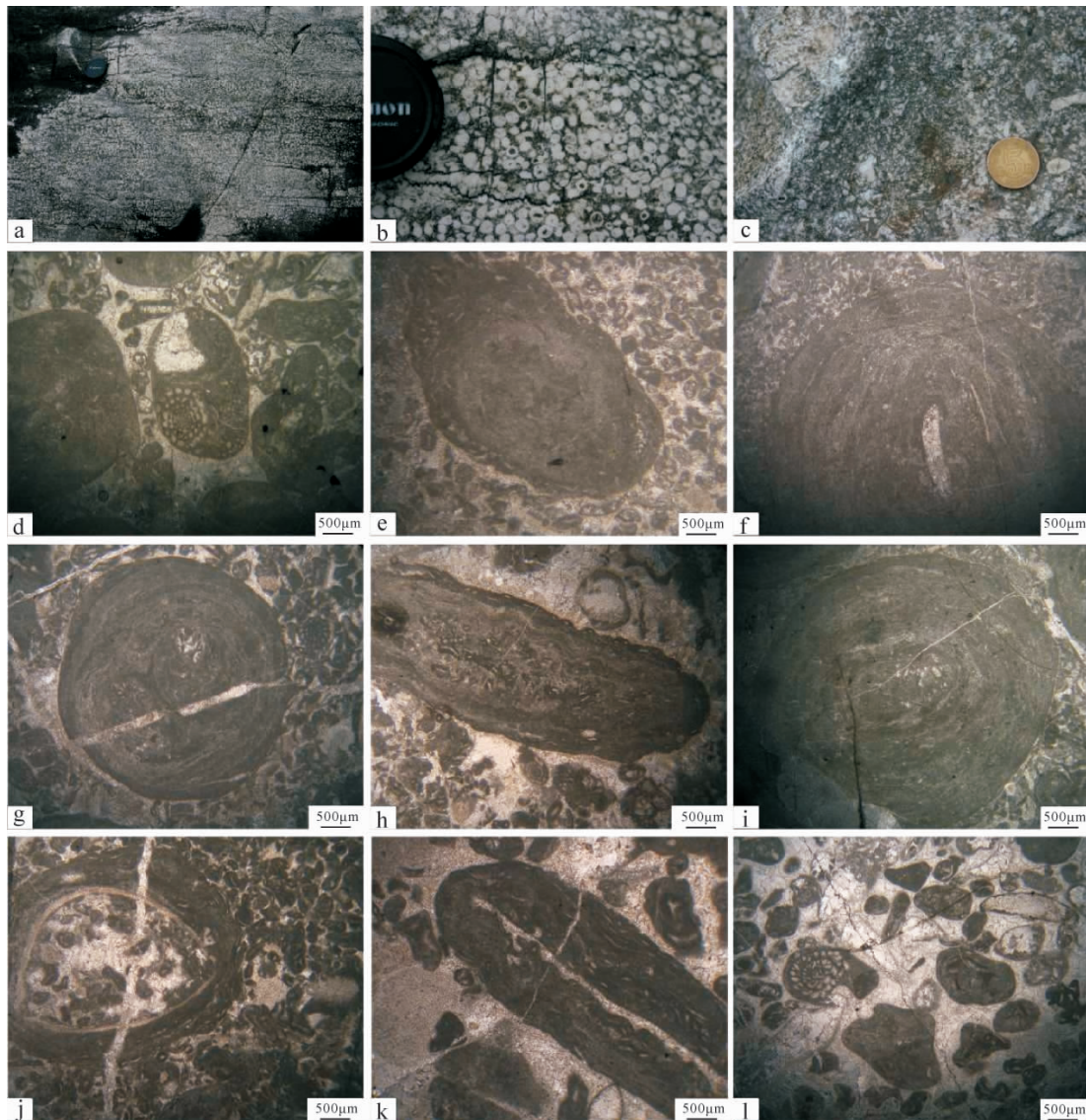


图 2 核形石的基本特征及其类型

Fig. 2 The types and basic characteristics of the oncoids

a. 台地边缘滩中大球状核形石与密集的缝合线构造,江油马角坝地区双龙剖面,野外照片。b. 台地边缘滩中大球状核形石(图 1 的局部放大),江油马角坝地区双龙剖面,野外照片。c. 开阔台地中小球状核形石与生物碎屑,江油马角坝地区双龙剖面,野外照片。d. 台地边缘滩中生物碎屑核心和泥晶纹层,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。e. 台地边缘滩中内碎屑核心、生物纹层和破碎严重的生物碎屑基质,江油马角坝地区沉水剖面,单偏光。f. 台地边缘滩中重结晶的生物碎屑核心、泥晶纹层和亮晶纹层,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。g. 台地边缘滩中双核心核形石、泥晶纹层和破碎严重的生物碎屑基质,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。h. 台地边缘滩中含藻泥晶核心、泥晶纹层、亮晶纹层、微生物纹层和叠层状构造,江油马角坝地区沉水剖面,单偏光。i. 台地边缘滩中大球状核形石、泥晶纹层和亮晶纹层,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。j. 开阔台地中球状核形石、完整的腕足类核心和微生物纹层,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。k. 台地边缘滩中棒状核形石、泥晶纹层和微生物纹层,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。l. 开阔台地中小球状核形石与生物碎屑,核形石与生物碎屑几乎等大,且核心生物类型与基质相同,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。

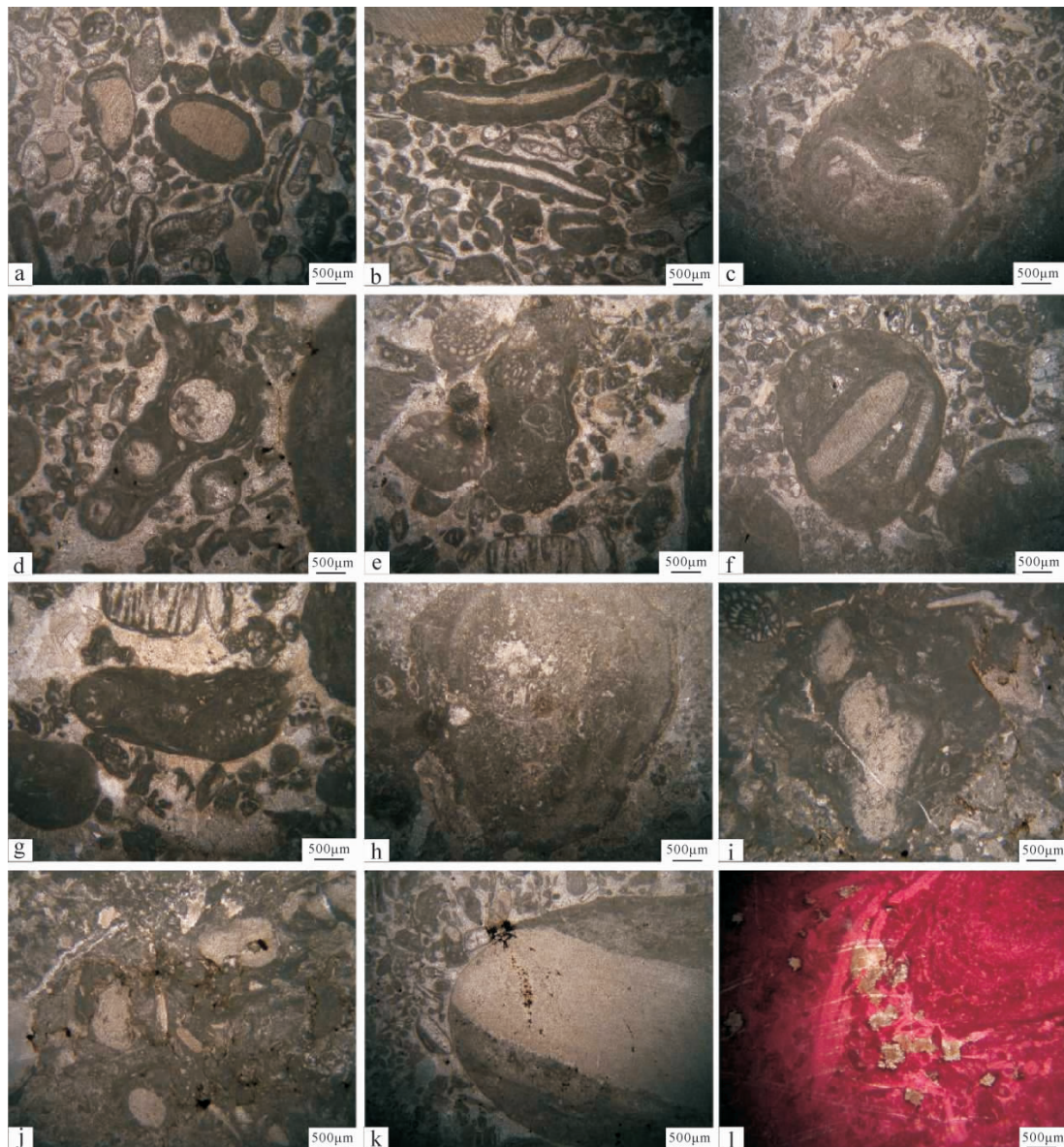


图 3 核形石的基本特征及其类型

Fig. 3 The types and basic characteristics of the oncoids

a. 开阔台地中小球状核形石 核心为生物碎屑,呈偏心状,基质组成与核心组成相同,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。b. 开阔台地中
长棒状核形石 核心均为长条状腕足类、核形石的发育受到核心形状的强烈控制,边缘不平整,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。c. 开
阔台地中帽状核形石 核心为较大的内碎屑,呈偏心状,江油马角坝地区沉水剖面,单偏光。d. 开阔台地中不规则核形石,大核形石捕获
多个小核形石,纹层以含生物纹层为主,边缘极其不规则,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。e. 开阔台地中不规则核形石,多个核心粘
附在一起,生物类型丰富,含生物纹层和泥晶纹层,边缘不平整,江油马角坝地区沉水剖面,单偏光。f. 台地边缘滩中复合核形石,多个核
心组成一个完整的核形石,泥晶纹层,边缘光滑,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。g. 开阔台地中复合核形石,两个核形石粘附在一
起后经受到一定的磨圆。江油马角坝地区沉水剖面,单偏光。h. 局限台地中薄皮纹层帽状核形石,内碎屑核心周围包裹着厚度不等的泥晶
纹层,北川通口地区通口剖面,单偏光。i. 局限台地中不规则核形石,多个叶状藻生物碎屑被不规则的包裹在一起,以含生物纹层和泥晶
纹层为主,边缘凹凸不平,北川通口地区通口剖面,单偏光。j. 局限台地中核形石的基质类型,基质为藻类等生物碎屑,组分与图 9 中作
为核心的生物碎屑类型相同,北川通口地区通口剖面,单偏光。k. 台地边缘滩中棒状核形石的边缘和核心被强烈的磨蚀,表明有强水
动力的作用,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。l. 局限台地中不规则核形石和基质被部分白云石化,基质为泥晶方解石,白云石自形一
半自形,江油马角坝地区双龙剖面,单偏光。

D 含生物纹层(图 3-e): 由微生物捕获或粘结其
它生物碎屑形成的。纹层中可见大量破碎严重的小
粒度生物碎屑,多为有孔虫、棘皮动物和藻类。纹层
的形成由微生物吸附周边细小的生物碎屑造成。

E 微生物纹层(图 2-h j k): 由泥晶方解石组成,
色暗,藻丝体明显,顺着纹层分布,纹层厚 200 ~
1 000 μm ,不规则,藻体向外放射状生长,边缘波状起
伏,可见藻丝体周边有大量的泥晶方解石。以上特征

说明藻丝体受底质的影响较小,依靠光合作用吸附和捕获碳酸盐质点,沉淀于中等能量的水体中。

核形石的圈层通常由两种或两种以上的纹层组合而成,常见的是泥晶纹层、微生物纹层和亮晶纹层随机组合。纹层围绕核心可以形成完整的同心纹或不完整的同心纹(其中完整的同心纹可以由半连续的泥晶纹层构成),也可以由几种不连续的纹层组合而成。

2.3 圈层内部“构造”

圈层内部“构造”主要有“鸟眼”构造、叠层状构造和泥晶化侵蚀构造等。“鸟眼”主要出现在微生物纹层和凝块状纹层中,大小不一、形状不规则,无内部构造,被亮晶方解石充填,可能为微生物的孔洞或气泡所形成。叠层状构造(图 2-h)分布较少,偶见核形石的纹层呈现凸起与凹陷交替出现,与叠层石的生长类似,一层暗纹、一层亮纹交替出现,其形成可能与当时的水动力条件、稳定的悬浮状态有关。泥晶化侵蚀构造指核形石受到后期成岩作用影响,核形石的核心和纹层被泥晶化作用,如棘皮动物核心被微生物侵蚀,纹层受到泥晶化作用影响而变得模糊(图 2-f)。

2.4 核心与纹层的关系

核心对纹层的发育起到一定的控制作用,核心的初始形状影响尤为明显。在相同的水动力作用下,大颗粒不易悬浮、不易发生滚动或较少发生滚动。当纹层较薄时,难以抵消核心原始外形对最终外形发育的影响,随着纹层加厚,核心的控制作用逐渐减弱,核形石会呈现出一定程度的圆化或椭圆化趋势,使得核形石以球状为主。

研究区核形石的核心大小和形态与纹层的发育存在如下关系:(1)当核心很小或圆形时,在相同的水动力条件下,核心易悬浮于水中,核心物质慢慢捕获和粘附碳酸盐质点和藻类,呈全方位生长,易形成球形或椭球形(图 2-i)。(2)当核心为短长条状或不规则状时,纹层的发育分两种情况:在水动力较强时,核心悬浮于水体中,易形成全方位的球状或椭球状(图 2-k),但纹层类型较少。当水动力不大时,纹层大致分 3 个发育阶段(图 2-f),首先围绕核心形成薄的纹晶套;然后,悬浮在水中,短轴方向上纹层生长快于长轴方向,形成椭球形;最后虽然颗粒较大,但疏松多孔相对密度小,悬浮于水中,纹层均匀生长,形成更大的球形核形石。(3)当核心很大时,核心密度较大,使之不易悬浮在水中,纹层捕获和粘附少量碳酸盐质点不利于核形石的生长。因此,在水动力较弱的

水体中易形成纹层很薄的核形石(图 2-e, 3-h)。(4)当水动力很弱或核心物质的密度较大,不能呈悬浮状态存在于水体中,而是固着在底质上,由于光合作用的影响,会出现单向生长的半包裹状,纹层受核心的影响明显减小,疏密不一,不连续,外形不规则,形成了帽状核形石(图 3-e)。(5)在复合核形石中,经常出现在相同的水动力条件下,核心稍大的核形石的纹层能捕获和粘附周边小的核形石(图 3-d, e, g)或生物碎屑,进而形成复合核形石,但纹层杂乱,不规则。

3 核形石分类

核形石分类问题一直是国内外地质学家研究的热点,不少学者对其进行了大量的探索,并取得了丰富的成果^[1, 2, 5-9, 11-14]。目前比较常用的分类可以归纳为 3 类:以 Dahanayake^[1]为代表的以“形”分类^[15-20]、以 Flügel^[22]为代表的以组分分类和以贺自爱^[2]为代表的“形”+成因环境分类^[23-24]。上述分类均针对不同地区和不同层位所进行,都有其各自的优势,但地史时期形成的核形石的物理、化学和生物条件多样,势必造成核形石特征的差异性,各分类之间相互交叉、重复,使得核形石的分类和描述很难达到一致的标准。本文结合研究区核形石的发育特点,以 Dahanayake^[1]按“形”分类为主线,根据核形石的形态、核心结构与位置和纹层特征将研究区核形石分为大球状、小球状、长棒状、帽状、不规则状和复合核形石等 6 大类。

(1)大球状核形石(图 2-a, b, f, g, h, i):研究区出现最多的核形石,形态以球状和椭球状(直径大于 4 mm)为主,长轴与短轴之比小于 2:1。核心主要以内碎屑为主,少量为重结晶的生物碎屑和小粒径生物碎屑。纹层为泥晶纹层、含生物纹层、微生物纹层和少量亮晶纹层。同心纹层较密,半连续状为主。

大球状核形石的周围基质中含大量破损严重的生物碎屑,亮晶方解石胶结。核形石的外壳边缘光滑,可见部分核形石核心的生物碎屑遭受到一定的磨圆(图 3-k)。核心的物质组分表明核形石形成于潮下带低能浅海环境,后经短距离搬运至潮下高能的台地边缘滩环境沉积,属于近原地堆积。表明核形石的形成环境与堆积环境可能不一致。

(2)小球状核形石(图 2-c, 3-a):在研究区分布较广,一般分布于大球状核形石的下部,核形石与生物碎屑几乎等大小,生物碎屑保存较好,核形石直径以 2~4 mm 为主,球状、纹层简单,以泥晶纹层为主。

核心生物碎屑与基质中生物碎屑类型、粒径和完整程度类似,表明核形石形成环境与沉积环境一致。基质中**藻类**保存完整,整体分选性好,亮晶方解石胶结表明核形石可能就地堆积,随着水能力的增大泥晶基质被冲洗掉,可能形成并沉积于中等能量的开阔台地环境^[25]。

(3) 长棒状核形石(图 2-k; 3-b): 在研究区分布较少,常与球状核形石伴生,形态为长棒状,长轴与短轴之比大于 2:1。核心为腕足类、棘皮动物、藻类和藻丝状体,一般长轴与短轴之比越大,纹层发育越简单,以泥晶纹层为主,少量微生物纹层。

(4) 帽状核形石(图 3-c, h): 在研究区分布较少,仅在有限的层位出现,形态为似半球状或帽状。核心较大,成分为内碎屑、团块和生物碎屑,密度大,加上水动力较弱,不易悬浮,使之以固着生长为主,故核心一半被纹层包绕或有纹层包绕整个核心,但核心明显偏于一侧(偏心状),类似于叠层石。由于光合作用、藻类的捕获和粘附作用影响,一层层向上生长,纹层受核心形状影响不大,疏密不一,不连续,以泥晶纹层为主,外形极不规则。纹层类型单调,且形成的核形石的粒径偏大。基质中泥晶方解石含量较大,一般未见亮晶方解石胶结。核形石的外壳边缘不光滑,凹凸不平,部分基质中含大量的叶状藻化石,其中以通口剖面最为典型,核形石外表被大量的丝状藻所包裹,纹层发育较少,表明核形石的形成环境与沉积环境可能相一致,为潮下低能带的产物。

(5) 不规则状核形石(图 3-d, e, i): 在研究区零星分布。一般含多个核心,且核心大小不一,通常一个大核心周边有多个小核心,总体形态及大小由核心和纹层的多少决定,且外形极不规则,凹凸不平。纹层以泥晶纹层和微生物纹层为主。不规则状核形石形成于能量中等的水动力条件下,核心捕获和粘附碳酸盐质点,就地堆积,可能形成并沉积于开阔台地环境。

(6) 复合核形石(图 3-f, g): 在研究区分布较少。核心为多个生物碎屑或核形石,纹层类型多样,但一般厚度较薄,边缘较光滑,其形成可能与藻类捕获与粘附有关。如几个独立发育的单核形石,在各自发育过程中,其中一个大核形石包壳生长迅速,将临近正在发育的小核形石包裹其中,共同生长,进而形成复合核形石。

4 核形石的形成环境与沉积环境判断

核形石主要是通过藻(菌)类自身钙化、原地沉

淀、硫酸盐还原菌、藻类光合作用、藻类捕获和粘结等作用而形成的^[1, 20, 26-28]。核形石的沉积环境和形成环境大多数保持一致,只有少数由于风暴作用的影响,才会出现沉积环境与形成环境不一致^[15]。笔者通过研究发现核形石可以在多种条件下形成,也可以在多种环境中沉积,即核形石的形成环境和沉积环境并非大多数保持一致。笔者认为中高能条件下沉积的核形石,其沉积环境与形成环境往往不一致,仅在中低能条件下沉积的核形石其沉积环境与形成环境相一致。下面重点探讨研究区船山组的三种主要沉积环境:

(1) 台地边缘滩: 滩是研究区船山组核形石沉积的主要环境,核形石灰岩厚度一般比较大,岩层厚度为 0.5~3 m(部分可达 8 m),核形石颗粒含量 60% 以上,部分可达 80%。核形石以大球状、长棒状为主,可见少量复合核形石和不规则状核形石。同心纹层发育,以泥晶纹层为主,纹层的厚度是核心厚度 2 倍以上者居多,边缘光滑。基质中含大量破碎较严重的生物碎屑,以非**藻**有孔虫、**藻类**、藻类和棘皮动物为主,见少量泥晶方解石,多为亮晶方解石胶结,偶见胶结物呈二世代结构。以上特征表明核形石形成于水动力较强的高能浅滩环境。

核形石的核心为泥晶碎屑和少量保存完整的生物碎屑,可见核心形成于水动力条件较弱的潮间带或潮下带低能环境。在合适的深度、水能量、水温和沉积速率的影响下,核心悬浮于水体中,在藻类、微生物膜和 EPS(胞外聚合物)的作用下捕获和吸附碳酸盐和其它生物碎屑,最终形成了核形石。某些核形石在形成的过程中,可能经历了多期次形成过程。

笔者认为台地边缘滩中沉积的以大球状、长棒状为主的核形石的形成与沉积环境不一致,即核形石形成于低能的潮间带或潮下带,后经搬运在台地边缘滩发生沉积。

(2) 开阔台地: 开阔台地沉积的核形石一般位于大球状核形石的下部,与上部台地边缘滩核形石构成多个沉积旋回。在开阔台地环境沉积的核形石颗粒较小,粒径普遍小于 5 mm,所含生物群常为窄盐度正常浅海藻类、有孔虫、棘皮动物和腕足类等,大部分保存完整。核形石以小球状、小长棒状为主,其含量明显比生物碎屑少。整体分选性良好。核形石的核心以生物碎屑为主,同心纹层由于受后期泥晶化作用影响已模糊不清,主要为泥晶纹层,偶见含生物纹层和亮晶纹层。其边缘凹凸不平,遭受到一定的冲刷磨

圆。亮晶方解石胶结,呈二个世代结构,亮晶方解石一期呈针状或马牙状,二期呈粒状。棘皮动物碎屑周边泥晶化现象明显。以上特征表明核形石沉积于开阔台地,能量中等的环境。

核形石的核心以藻类、有孔虫、棘皮动物等生物碎屑为主,保存完整,表明其形成于开阔台地中低能带。纹层和基质特征也表明其沉积于开阔台地能量中等环境。以上特征表明核形石的形成环境与沉积环境并非不一致,即核形石的核心物质在中低能浅水条件下形成,随着水体能量的增大,在原地呈悬浮状态,捕获或吸附沉积物,随着核形石变大和水能量的提高,泥晶基质被冲洗,核形石沉积,使得研究区核形石与生物碎屑粒度相当,纹层少而简单。

(3) 局限台地:局限台地核形石主要分布于通口地区和马角坝的局部地区,一般以帽状核形石和不规则核形石为主,含量比较低,其形状往往由核心所决定。核心较大,以内碎屑和藻类为主,纹层较薄,大部分不足核心的一半,全为泥晶纹层。基质中生物碎屑含量比较少,主要为叶状藻和少量有孔虫,泥质含量特别高,核形石内部部分白云石化。以上特征表明核形石沉积于局限、能量相对较低的浅水环境。

核形石的核心以内碎屑和藻类为主,核心物质和基质物质相同,泥质含量特别高,这些特征表明核形石的形成环境与沉积环境一致,即核心捕获和吸附碳酸盐质点,随着粒径的增大和水环境的变化而就地沉积。

综上所述,江油马角坝地区船山组的核形石主要沉积于台地边缘滩和开阔台地环境,少量沉积于局限台地环境。从纵向上来看,研究区的核形石呈现开阔台地至台地边缘滩的周期性变化。从岩相古地理来看,从南西向北东(北川通口—江油马角坝—广元长江沟),研究区曾出现局限台地—开阔台地—台地边缘—蒸发台地的分异;从西向东(江油沉水—江油双龙)经历了至少 13 层核形石—多层生物碎屑—核形石的周期性变化,且厚度逐渐增加,层数减少。以上特征说明核形石的发育需要合适的海平面变化、水深、温度和水动力条件。

以大球状和长棒状核形石为主,偶见复合核形石,在颗粒组分中占主导地位,圆度较好,粒径超过厘米级。纹层厚度大于核心厚度。亮晶胶结,基质中颗粒组分与核形石核心组分存在较大的差异。以上特征表明核形石的形成环境与沉积环境不一致,即核形石形成于水动力较弱的局限台地或开阔台地环境,强水动力使基质生物碎屑破碎,核形石发生磨圆,搬运

并沉积于水动力较大的台地边缘滩环境。

核形石含量中等,以小球状为主,粒径 1~4 cm,核心以生物碎屑为主,保存完整,纹层简单,大部分纹层厚度小于核心厚度,形成与颗粒灰岩中,亮晶胶结,基质中生物碎屑保存较完整,粒径和核形石类似,整体分选性较好。以上特征表明核形石的形成环境与沉积环境类似,即在中等能量的开阔台地环境中,部分生物碎屑作为核心,悬浮于水体中,捕获和粘附碳酸盐岩质点形成核形石,当个体增大和水体能量增强时,基质被冲洗,核形石则发生沉积。

核形石含量低(不足 20%),基质中生物含量少,以宽盐度浅海生物为主,泥晶含量特别高,核心以基质生物和内碎屑为主,纹层简单,其厚度明显小于核心的厚度,且易受核心的形状影响,核形石整体粒径超过厘米级,纹层外壳极其不光滑。以上特征表明核形石的形成环境与沉积环境一致,即形成并沉积于水动力偏弱的潮下带。

5 结论

(1) 通过对江油地区船山组核形石的基本特征研究,对研究区核形石核心、纹层和圈层“构造”进行了探讨,根据内部显微构造和外部形态特征,将研究区核形石核心和纹层各分成 5 种类型,认为核心的物质成分对纹层发育影响不大,但核心的初始形状对纹层的发育具有重大的影响。

(2) 根据江油地区船山组核形石的基本形态、核心结构与位置及纹层特征将研究区核形石分为大球状核形石、小球状核形石、长棒状核形石、帽状核形石、不规则状核形石和复合核形石等 6 大类。

(3) 通过对江油地区船山组核形石的分布特征的分析,将该区核形石划分成 3 种沉积环境,即台地边缘滩、开阔台地和局限台地,并探讨了核形石的形成环境与沉积环境之间的关系,即核形石的形成环境可以与沉积环境一致,也可以不一致。

(4) 通过对江油地区船山组核形石的研究,讨论了碳酸盐岩地层中核形石分布、形成环境和沉积环境的耦合关系。高含量、大颗粒、纹层厚度大于核心厚度、纹层复杂、核心组分与基质组分存在较大差异,亮晶胶结的核形石的形成环境与沉积环境不一致,即核形石形成于水动力较弱的局限台地或开阔台地环境,强水动力使核形石发生磨圆,基质生物碎屑破碎,进而沉积于水动力较大的台地边缘滩环境。中等含量、中等粒度、纹层简单、与完整生物碎屑共存且粒径类

似、亮晶胶结的核形石的形成环境与沉积环境类似,即部分生物碎屑在中等水动力条件下,处于悬浮状态捕获和粘附碳酸盐质点,当个体增大和水体环境变化时,核形石就地沉积于中等能量的开阔台地环境。含量低、粒径变化大、纹层厚度小于核心厚度、纹层简单、形状易受核心的影响,纹层外壳凹凸不平,基质生物含量低、泥晶基质含量特别高的核形石的形成环境与沉积环境一致,即形成并沉积于水动力偏弱的局限台地环境。

参考文献(References)

- Dahanayake K. Sequential position and environmental significance of different types of oncooids [J]. *Sedimentary Geology*, 1978, 20: 301-316
- 贺自爱. 藻灰结核分类及其成因[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(1): 41-50 [He Ziai. Classification and origin of oncolite [J]. *Oil & Gas Geology*, 1982, 3(1): 41-50]
- Wolf K H. Gradational sedimentary products of calcareous algae [J]. *Sedimentology*, 1965, 4(3): 1-37
- Glass S W. The Peterson limestone-Early Cretaceous lacustrine carbonate deposition in western Wyoming and southeastern Idaho [J]. *Sedimentary Geology*, 1980, 27(2): 143-160
- Logan B W, Rezak R, Ginsburg R N. Classification and environmental significance of algal stromatolites [J]. *Journal of Geology*, 1964, 72: 68-83
- Flügel E. *Microfacies Analysis of Limestone* [M]. Translated by Christenson K. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1982: 62-454
- 刘效曾. 川西北中三叠统隐藻类碳酸盐岩特征及其环境意义[J]. 沉积学报, 1983, 1(3): 79-87 [Liu Xiaozeng. Characteristics and environmental significance of middle Triassic cryptoalgal carbonates in the Northwestern part of Sichuan [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1983, 1(3): 79-87]
- 曾允孚, 张锦泉, 林文球, 等. 广西泗顶泥盆系上统融县组中核形石的类型及其环境意义[J]. 沉积学报, 1983, 1(1): 42-49 [Zeng Yungfu, Zhang Jinqian, Lin Wenqiu, et al. Types and environmental significance of oncooids from Rongxian Formation of the upper Devonian in Siding, Guangxi [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1983, 1(1): 42-49]
- 黄志诚, 朱嗣昭. 安徽奥陶系石灰岩中含铁非骨架核形石的成因及其聚铁作用[J]. 沉积学报, 1987, 5(2): 29-38 [Huang Zhicheng, Zhu Sizhao. Origin of iron-bearing non-skeletal oncolite and its role in concentrating iron in Ordovician limestone, Anhui province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1987, 5(2): 29-38]
- Silvia Lanes, Ricardo M P. Environmental implications of oncooids and associated sediments from the Remoredo Formation (Lower Jurassic) Mendoza, Argentina [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 140: 357-366
- Michal Gradzinska, Jaroslaw Tyszkab, Alfred Uchmana, et al. Large microbial-foraminiferal oncooids from condensed Lower Middle Jurassic deposits: a case study from the Tatra Mountains, Poland [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, 213: 133-151
- Daniela Hägele, Reinhold Leinfelder, Jürke Grau, et al. Oncooids from the river Alz (southern Germany): Tiny ecosystems in a phosphorus-limited environment [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 237: 378-395
- Shi G. R., Chen Z. Q. Lower Permian oncolites from South China: Implications for equatorial sea-level responses to Late Palaeozoic Gondwanan glaciations [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 26: 424-436
- Brian Jones. Biogenicity of terrestrial oncooids formed in soil pockets, Cayman Brac, British West Indies [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 236: 95-108
- 姜月华, 岳文浙, 业治铮. 扬子地体船山组碳酸盐岩中的核形石[J]. 资源调查与环境, 1990, 11(2): 57-72 [Jiang Yuehua, Yue Wenzhe, Ye Zhizheng. Oncooids in the carbonate rocks of Chuanshan Formation from Yangtze Terrane [J]. *Resources Survey & Environment*, 1990, 11(2): 57-72]
- 覃建雄, 曾允孚, 黄志勋, 等. 四川龙门山马角坝地区石炭纪层序地层及海平面变化研究[J]. 岩相古地理, 1996, 16(1): 19-33 [Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Huang Zhixun, et al. Carboniferous sequence stratigraphy and sea-level changes in the Majiaoba district, Sichuan [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1996, 16(1): 19-33]
- 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-730 [Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources. *Regional Geology of Sichuan Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1-730]
- 李儒峰, 刘本培, 赵澄林. 扬子板块石炭纪沉积层序及其全球性对比研究[J]. 沉积学报, 1994, 15(3): 23-28 [Li Rufeng, Liu Benpei, Zhao Chenglin. Correlation of carboniferous depositional sequences on the Yangtze Plate with others on a global scale [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 15(3): 23-28]
- 李儒峰, 刘本培, 赵澄林. 黔南 Triticites 带旋回层序碳同位素特征及冰川型海平面变化[J]. 地质学报, 1996, 70(4): 342-350 [Li Rufeng, Liu Benpei and Zhao Chenglin. Characteristics of cycle-sequence, carbon isotope features and glacioeustasy of the Triticites zone in Southern Guizhou [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70(4): 342-350]
- 李熙喆, 管守锐, 谢庆宾, 等. 平邑盆地下第三系官中段核形石成因分析[J]. 岩石学报, 2000, 16(2): 261-268 [Li Xizhe, Guan Shourui, Xie Qingbin, et al. The oncooids genesis in the Middle Member of the Guanzhuang Formation of Eocene in Pingyi Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(2): 261-268]
- Monty C L V, MAS J R. Lower Cretaceous (Wealdian) Blue-Green Algal Deposits of the Province of Valencia, Eastern Spain, Phanerozoic Stromatolites [M]. Springer-Verlag, 1981: 85-120
- Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks* [M]. New York: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004: 1-924
- Stephanie Verdrine, Andre Strasser, Wolfgang Hug. Oncoid growth

- and distribution controlled by sea level fluctuation and climate (late Oxford, Swiss Jura Mountains) [J]. *Facies*, 2007, 53: 535-552
- 24 杨玉芳, 钟建华, 曾石岐, 等. 松辽盆地早白垩世青山口组核形石的特征及其环境意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(4): 558-569 [Yang Yufang, Zhong Jianhua, Zeng Shiqi, *et al.* Characteristics of oncolites in the Early Cretaceous Qingshankou Formation, Songliao Basin and its environmental significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(4): 558-569]
- 25 Dixit P C. Pleistocene lacustrine ridged oncolites from the Lake Man-yara area, Tanzania, East-Africa [J]. *Sedimentary Geology*, 1984, 39: 53-62
- 26 Peryt T M. Oncoids: Comment to Recent Developments-Coated Grains [M]. Springer-Verlag, 1983: 273-275
- 27 Whalen M T, Day J, Eberli G P, *et al.* Microbial carbonates as indicators of environmental change and biotic crises in carbonate systems: Examples from the Late Devonian, Alberta basin, Canada [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 181: 127-151
- 28 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 [Mei Mingxiang. Revised classification of microbial carbonates: complementing the classification of limestones [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 222-234]

Characteristics and Environmental Significance of the Chuanshan Formation Oncoids in the Majiaoba Area, Northwestern Sichuan Province

XU Jin-long^{1,2} HONG Tian-qiu¹ JIA Zhi-hai¹ WANG Wei¹ LUO Lei¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009;

2. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001)

Abstract: Oncoids are well preserved in the Chuanshan Formation in Majiaoba, Jiangyou County. Five types of core and lamina and three types of structures could be divided according to their microstructures. Five types of core are composed of bioclasts, intraclast, recrystallized bioclasts, pelletoid or early period oncoids and organic shell carbonate. Five types of lamina are commonly composed of sparry laminae, micritic laminae, clot-like laminae, micritic laminae including or alternating with layers of recognizable encrusting microfossils and porostromate laminae. Three types of structures are birds-eye structure, micritization, layered structure and so on. At the same time, the relationship of the cores and laminae are discussed in the paper. The types of laminae are easily dominated by the type of core, especially the original shape of the core.

Six oncooid types are distinguished by their cores, laminae and shapes, such as big ball oncooids (diameter > 4mm), small ball oncooids (diameter 0.5 ~ 4 mm), long-shaped oncooids (long axis and minor axis ratio > 2), gibbous oncooids, irregular oncooids and combined oncooids. They are deposited in winnowed platform edge sands, open platforms or restricted platforms separately. Both the distribution of the oncooids and their forming and depositional environments are discussed in this paper. (1) Forming environments and depositional environments are inconsistent. Oncooids contents have big sizes and are cemented by sparites in the strata, laminae are more complex and thicker than cores, and constituents of core and matrix are different. The cores, which are deposited nearby open platforms with weak water power, suspended nearby winnowed platform edge sands with strong water power capturing and adhering carbonate particles. Additionally, biological clastics are seriously broken in such samples. (2) Forming environments are not similar with depositional environments, at the same time the cores and the matrix are both composed by complete biological clasts. Medium spreaded oncooids contents have medium diameters and simple laminae and were cemented by sparites. Some biological clasts in their original places capture and adhere to carbonate particles during suspended in open platforms state. (3) Forming environments are exactly same with depositional environments. The oncooids are deposited in restricted platforms, with low contents, anomalous diameters, polytropical edges, simple laminae, low biological clastic and thin laminae.

Key words: oncooids; classification; forming environment; depositional environment; Chuanshan Formation; Majiaoba region