

文章编号:1000-0550(2011)03-0449-09

# 四川广元中二叠统栖霞组似球粒灰岩微相特征 及沉积学意义<sup>①</sup>

马志鑫<sup>1,2</sup> 李波<sup>1</sup> 颜佳新<sup>1</sup> 薛武强<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室 武汉 430074; 2. 成都地质矿产研究所 成都 610081)

**摘要** 四川广元上寺中二叠统栖霞组中段发育碳酸盐岩浅滩相。露头观察、镜下分析得出,其颗粒类型中,似球粒、包粒十分丰富,占较大比重。研究层段识别出粪球粒、巴哈马似球粒、微生物似球粒三种类型。其中以巴哈马似球粒最为常见,它是由生物碎屑的泥晶化导致的。基于颗粒类型、沉积组构的详细观察和微相分析,得出研究层段总体沉积环境为似球粒为主的浅滩,包括滩体、滩缘、滩间三个亚环境。相对前人得出的生物碎屑滩,似球粒滩形成的水体能量相对较低。而且,这种似球粒滩在华南二叠纪地层中分布广泛。识别这种似球粒滩并对其颗粒组成、形成环境及空间展布进行深入研究,对认识华南二叠纪的沉积古地理格局将具有重要意义。

**关键词** 似球粒 沉积环境 广元 栖霞组

**第一作者简介** 马志鑫 男 1983年生 硕士研究生 古生物学与地层学 E-mail: zhixinma83@gmail.com

**中图分类号** P588.24<sup>+</sup>5 **文献标识码** A

碳酸盐岩浅滩是浅水碳酸盐岩沉积中的一种重要类型,包括鲕粒滩、生物碎屑滩,一般代表位于台地边缘或者台地内部相对高能的环境<sup>[1~3]</sup>。但实际情况远比这复杂,很多浅滩相并非只含有鲕粒和生屑。例如,在佛罗里达湾西部的马克萨斯群岛滩体中,缺乏鲕粒沉积,以包粒为主<sup>[4]</sup>;西班牙东北部的侏罗纪碳酸盐岩缓坡沉积中,发育似球粒组成的浅滩<sup>[5]</sup>;在美国弗吉尼亚西部 Appalachia 盆地密西西比世碳酸盐岩缓坡沉积中,似球粒滩和鲕粒滩同时发育<sup>[6]</sup>。

华南二叠系栖霞组中广泛发育滩相沉积<sup>[7,8]</sup>。如扬子地台西北缘,多数学者根据其含有浅水生物碎屑和亮晶充填特征,将其定为生物碎屑滩沉积<sup>[9~11]</sup>。冯增昭等<sup>[8]</sup>根据其中含较多生物颗粒,颗粒之间灰泥充填等特征,将其称之为生物集。四川广元上寺剖面栖霞组中段发育滩相沉积。野外观察和室内分析表明,颗粒类型除含有生物碎屑外,似球粒和包粒是极其重要的组分。前人往往忽视了这种似球粒滩,将其笼统的划分到生物碎屑滩。但从水体能量角度来看,似球粒和包粒组成的滩相对低能,因而两者在沉积环境有着很大差别,必须引起重视。本文以广元上寺剖面的滩相为例,对其典型颗粒—似球粒进行了分类、统计,并与生物碎屑进行了对比,旨在反映似球粒滩的特征及其与生物碎屑滩之间的差异,供同行学者

参考。

## 1 地质背景及剖面介绍

广元上寺剖面位于四川省广元市剑阁县上寺镇北部约1 km的长江沟(图1)。古地理位置上位于扬

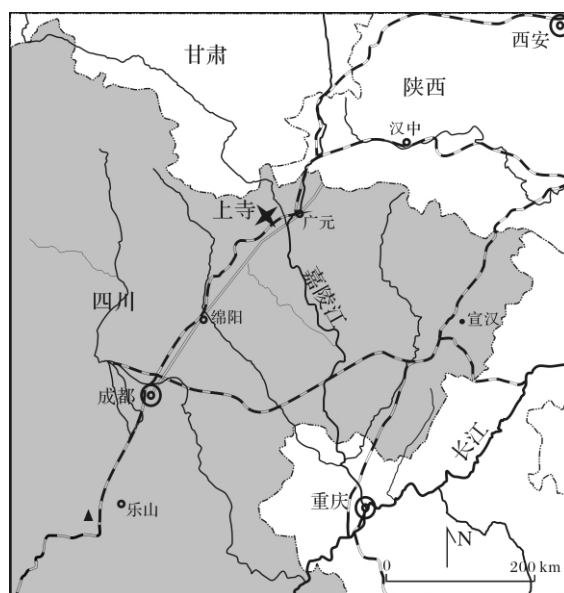


图1 广元上寺剖面地理位置图

Fig. 1 Location map of the Shangsì Section, Guangyuan

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号:41072078)资助。  
收稿日期:2010-02-01; 收修改稿日期:2010-03-22

子地台西北缘 剖面出露良好 沉积地层连续 是该地区的代表性剖面 有较好的研究基础<sup>[12~15]</sup>。出露的二叠系自下而上分为:梁山组、栖霞组、茅口组、吴家坪组、大隆组。Yan 等<sup>[15]</sup>根据栖霞组特征成岩矿物天青石、海泡石和牙形石带(未发表)将栖霞组上界上调了 130 m。栖霞组厚约 228 m,分为三段:下段为灰黑色中厚层生物碎屑灰岩夹海泡石页岩;中段为灰白色巨厚层一块状生屑灰岩,白云岩化和方解石晶洞发育;上段为灰黑色中厚层生物碎屑灰岩夹海泡石页岩,局部显示“眼球状”构造<sup>[15]</sup>。

其中栖霞组中段发育灰白色巨厚层一块状生屑灰岩,具斑状或层状白云岩化。由于其含丰富的似球粒,本文称之为似球粒灰岩段。按宏观岩性特征又可以细分为三个部分:下部为灰白色巨厚层灰岩,露头见海百合、腕足、横板珊瑚等宏体化石,含粗晶方解石孔洞,且孔洞数量由下向上逐渐增多(图 2A、B,图 5);中部为厚层白云岩段,单层厚约 30 cm,宏观上表现为砂糖状,晶粒较粗,几乎不见宏体化石(图 2C,图 5);上部为灰白色厚层—巨厚层灰岩,可见少量横板珊瑚、腕足化

石,白云质豹斑多垂直于层面分布(图 2D,图 5)。

## 2 似球粒特征及分类

鉴于研究层段内似球粒的广泛发育,在此有必要对似球粒及其特征作一简要介绍。似球粒(peloid)是一种小的、球形或椭圆形的隐晶质的碳酸盐岩集合颗粒,缺乏内部构造<sup>[2]</sup>。其粒径范围一般是 30~100  $\mu\text{m}$ ,很少超过 500  $\mu\text{m}$ <sup>[16~18]</sup>。

Macintyre<sup>[19]</sup>根据似球粒的起源将其划分为三种:粪球粒、碎屑球粒和原地沉积球粒。而 Flügel<sup>[18]</sup>把似球粒细分为九个亚类:粪球粒、藻球粒、生物侵蚀的似球粒、灰泥似球粒、铸模似球粒、巴哈马似球粒、球状粒、微生物似球粒和沉淀似球粒。相对于 Macintyre<sup>[19]</sup>的分类,Flügel<sup>[18]</sup>的分类要详细的多,但同时也显得有些冗余。其中的巴哈马似球粒、藻球粒、生物侵蚀的似球粒、球状粒(pelletoid)在成因和结构上非常相似,本文认为可以合并为一类。根据似球粒的形成过程和形态特征,笔者认为似球粒基本可以分为以下六种:

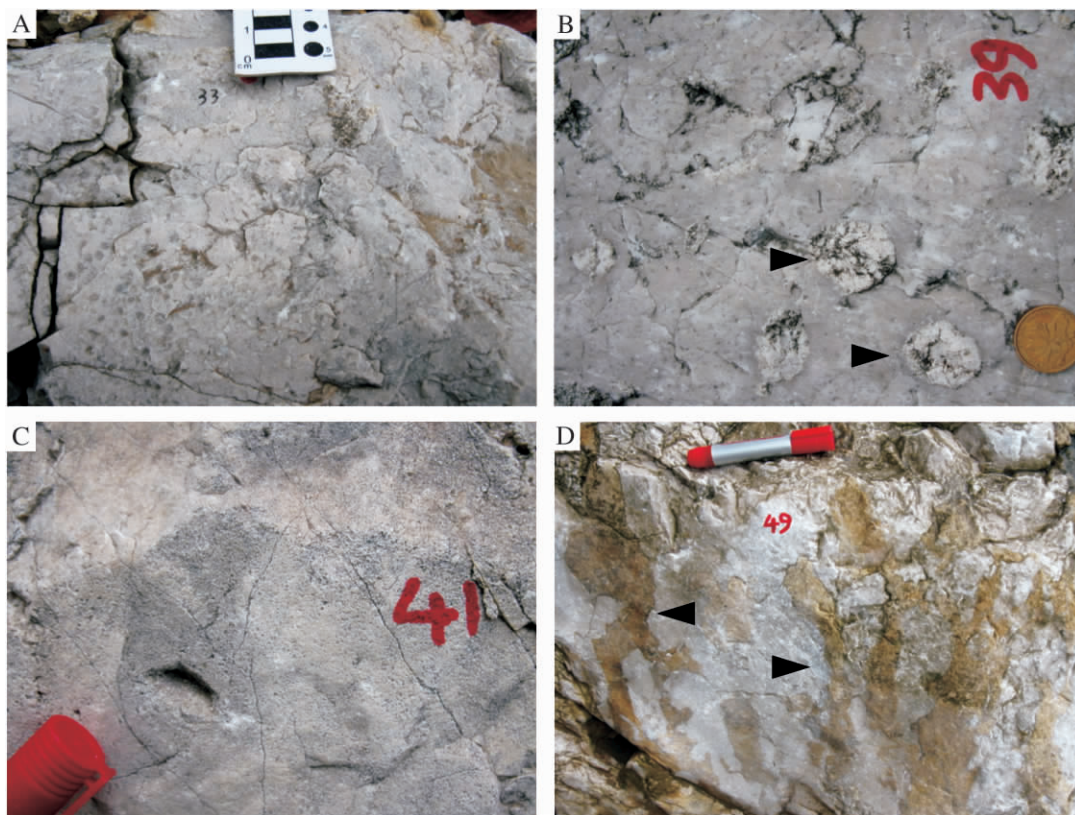


图 2 似球粒灰岩野外露头特征

A. 灰白色巨厚层生屑灰岩, 鲕类丰富; B. 灰白色巨厚层灰岩, 含白色粗晶方解石充填的晶洞(黑色三角指示); C. 白色粗晶白云岩; D. 厚层灰白色灰岩, 见白云岩质豹斑(黑色三角指示) 近垂直于层面分布

Fig. 2 Field outcrops of the peloid limestone

粪球粒 粪球粒是由食沉积物的动物产生,大多含较高的有机质<sup>[20]</sup>。其主要识别标志是分选好、分布集中,尤其是在生物潜穴结构中<sup>[21]</sup>。一般产于热带海洋和非海洋环境,保存在局限潮下和潮间带下部,水动力条件弱和沉积速率低的环境<sup>[18]</sup>。

巴哈马似球粒 巴哈马似球粒是由于鲕粒或生物碎屑强烈泥晶化形成,泥晶化导致颗粒的原始显微组构完全消失,产生圆的微晶颗粒<sup>[22-23]</sup>。Flügel<sup>[18]</sup>划分的藻球粒、生物侵蚀的似球粒、球状粒在成因、形态上与巴哈马似球粒类似,可归入其中。

微生物似球粒 微生物似球粒个体较小,一般致密堆积,有时表现为凝块状组构。一般认为这种凝块状微组构的形成与微生物降解和钙化有很大关系<sup>[24-26]</sup>。这种特征组构也是其主要的识别标志。

铸模似球粒 铸模似球粒是由于生物壳体(包括介形、软体、有孔虫)被溶解,壳体内的铸模以小的似球粒形式保存下来,成为铸模似球粒<sup>[18,25]</sup>。这种铸模球粒通常保存有原来壳体的形态,可以作为其识别标志。

沉淀似球粒 沉淀似球粒粒径小,具有雾心亮边结构,锯齿状微晶菱形方解石包围着他形雾心,雾心可能为细菌诱发的沉淀。这种似球粒主要出现在生物礁骨粒间和骨粒内的孔洞里以及在非礁孔洞里<sup>[19,27,28]</sup>。雾心亮边结构是这种似球粒的典型特征。

灰泥似球粒 灰泥似球粒由石化的碳酸盐泥和微晶碎屑改造而成,分选差,外形不同。这种似球粒与微晶基质组分相似,含有似球粒的区域与不含似球粒的区域之间表现为不规则接触面。一般保存在有障壁的浅海环境<sup>[18]</sup>。

与似球粒成因密切相关的是泥晶化,这一概念首先在现代潟湖碳酸盐沉积研究中提出<sup>[29]</sup>,指碳酸盐颗粒边缘或整个颗粒被隐晶或微晶碳酸盐晶体交代的过程。产生泥晶化的作用包括:与生物微钻孔相关的破坏性泥晶化,与石表生物相关的建设性泥晶化,以及部分溶解和重结晶作用<sup>[27,29-31]</sup>。绝大部分碳酸盐岩的泥晶化发生在温暖的热带浅海。

与似球粒经常伴生的还有包粒(cortoid),它是具有薄泥晶套的碳酸盐岩颗粒<sup>[2,18]</sup>。包粒的形成与巴哈马似球粒类似,都是泥晶化作用的结果,只是包粒泥晶化的程度相对较弱<sup>[32]</sup>,一些包粒能够保存原来颗粒的形态和结构。包粒主要发育在浅海陆棚和碳酸盐岩台地。层状颗粒岩中含有高比例的包粒,伴生其他球形生物碎屑,形成于浪基面或其上的动荡水域<sup>[18]</sup>。

### 3 广元剖面的似球粒

在广元上寺剖面栖霞组似球粒灰岩段中,颗粒类型以似球粒为主,主要为粪球粒、巴哈马似球粒、微生物似球粒三种。

粪球粒:形态为拉长杆状或卵形,粒径50~200 μm,分选较好,颗粒边界清晰,多为均质体。主要分布于32~34层、38、43、44层(图3A,图5)。

巴哈马似球粒:多为球形或似球形,个体较大,100~200 μm,表面凹凸不平,边界模糊,与包粒伴生,指示其形成的泥晶化过程。这种似球粒在研究层段内很发育,绝大部分层段都有,包括33~39层、43、46、48、49层(图3B,图5)。

微生物似球粒:颗粒个体小,粒径约50 μm,边界模糊,分布较集中,丛状产出,表现出凝块组构,指示其可能为菌藻成因。主要分布于35、36、44、45层(图3C,图5)。

此外,包粒也是本段灰岩中的常见颗粒类型。有些可以识别出原生颗粒组分,如双壳、粗枝藻、腹足等。包粒大小、形态不一,主要受原来生屑颗粒类型和钻孔、磨蚀程度控制。主要分布于33、34层、36~39层、46、48层(图3D,图5)。

### 4 似球粒灰岩段的微相划分

根据颗粒类型、粒泥比、化石组合等结构特点,广元剖面栖霞组似球粒灰岩段中可识别出四种微相类型:似球粒泥粒岩—颗粒岩微相、似球粒—包粒颗粒岩微相、有孔虫—钙藻泥粒岩微相、生物碎屑粒泥岩微相(图4,图5)。

似球粒泥粒岩—颗粒岩(MF1)颗粒主要为似球粒,粒径50~100 μm,其次为少量有孔虫,具泥晶化。颗粒的分选、磨圆较好,含量约50%。颗粒支撑,颗粒之间为灰泥或亮晶方解石(图4A)。

似球粒—包粒颗粒岩(MF2)颗粒多数为包粒,其次为似球粒。生物碎屑少量,见红藻、及少量海百合碎片。颗粒的分选较差、磨圆较好,含量50%~60%。颗粒支撑,颗粒之间多为亮晶方解石充填(图4B)。

有孔虫—钙藻泥粒岩(MF3)颗粒主要为生物碎屑,包括有孔虫、筴、翁格达藻、Tubiphytes、腹足、海百合茎,化石保存较好,其次为少量似球粒。颗粒含量约占50%,主要为颗粒支撑,颗粒之间基本为灰泥。生物化石类型丰富,保存情况好(图4C)。

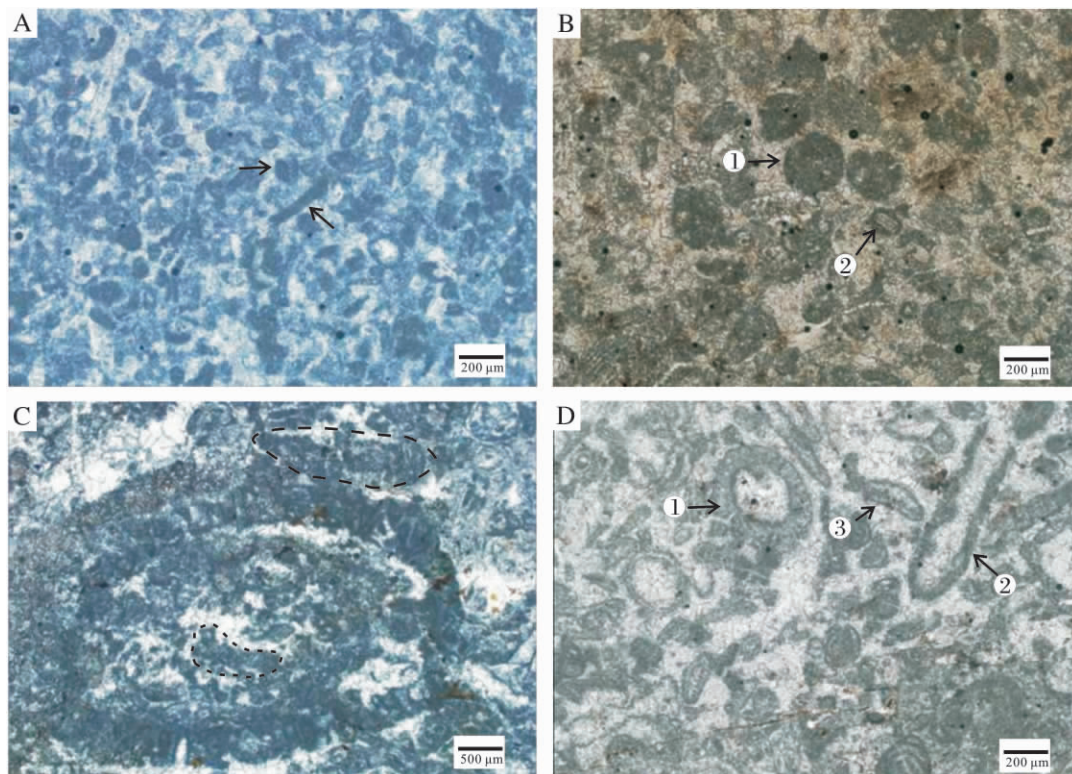


图3 广元剖面似球粒显微特征

A. 粪球粒; B. 巴哈马型似球粒, 图中①为典型巴哈马似球粒, ②泥晶化未完成的包粒; C. 微生物似球粒, 图中虚线圈定部分为凝块结构; D. 包粒, 图中①②为泥晶化的粗枝藻碎片, ③已经辨识不出原生颗粒组分

Fig. 3 Microscopic characteristics of peloids at the Shangsi Section

研究层段内 A1、42 层为白云岩沉积, 单偏光镜下为半自形—它形中粗晶、镶嵌状结构, 晶面较脏, 晶体内微裂缝发育(图 4E)。正交镜下波状消光, 具有鞍状白云岩特征。42 层顶部白云岩化灰岩中, 可见未完全交代的灰岩。岩性为生屑粒泥岩—泥晶灰岩, 含极少的生物碎片(图 4F)。

## 5 似球粒灰岩段的环境解释

广元上寺剖面栖霞组中部似球粒灰岩段宏观上主要为灰白色巨厚层—块状生屑灰岩, 伴有层状或豹斑状白云岩化。虽然其颗粒类型以似球粒为主, 但颗粒间的亮晶方解石胶结也比较发育, 因此前人将其定为滩相是合理的。根据岩性特征及微相特征, 可将此滩相进一步划分为三个亚环境: 滩体、滩缘、滩间(图 5)。

### 滩体( shoal)

主要为似球粒—包粒颗粒岩—泥粒岩。颗粒类型主要为巴哈马型似球粒和包粒, 其次为浅水生物碎屑, 如有孔虫、钙藻等, 泥晶化广泛发育。颗粒的分选、磨圆较好, 颗粒之间为亮晶胶结, 泥晶很少。这些

特征代表水动力较强的碳酸盐岩浅滩相沉积环境。

### 滩缘( shoal fringe)

主要为似球粒泥粒岩—粒泥岩, 其颗粒类型与滩体相似, 以似球粒为主, 其次为浅水生物碎屑, 但颗粒之间多为灰泥充填, 亮晶较少。灰泥的增多表明水动力相对减弱, 允许灰泥沉淀。颗粒的分选、磨圆程度一般。局部的似球粒显示出定向排列和接触面, 可能是受到幕式风暴作用影响。代表水动力中等—较强的滩缘环境。

### 滩间( inter shoal)

野外露头为厚层状白云岩, 晶粒较粗, 显示砂糖状结构(图 2C)。作为重要油气储层, 前人对其沉积成岩作用、空间分布等已经做过较多研究, 多认为是大气淡水或埋藏成岩作用形成, 对于其沉积环境, 由于白云岩化强, 原始的沉积组构保存少, 多根据白云岩中少量的残余生物碎屑, 推测其原来沉积环境也为滩相沉积<sup>[33, 34]</sup>。本段白云岩厚 11.3 m, 观察薄片 11 片。大多数岩性都为白云岩, 偏光显微镜和阴极发光显微镜下, 生屑或其他颗粒均很少见。顶部的一片薄

片,为白云岩化灰岩,局部保留有原来的灰岩结构,其灰泥含量很高,生物碎屑很少且不能辨识(图 4F)。推测白云岩的原岩为生屑粒泥岩—泥晶灰岩,沉积环境的水动力较低。白云岩的上下层位均为似球粒滩相,从地层序列和沉积相演化角度看,这段白云岩代表水动力相对较低的滩间潟湖环境。

生物碎屑粒泥岩(MF4)颗粒主要为生物碎屑,包括粗枝藻、有孔虫、介形,其次为少量似球粒。颗粒

含量约 20%,颗粒之间为灰泥充填。总体上为灰泥支撑,生物化石种类较少,化石保存较好(图 4D)。

沉积亚环境在垂向上的分布,表现出似球粒滩两个期次的演化。这种演化多是由于相对海平面的升降或碳酸盐岩生产、运移速率变化造成的<sup>[35]</sup>。在浅水台地,很小幅度的海平面变化都可以导致戏剧性变化。相带改变也可以由单纯的沉积体的侧向迁移、推进导致<sup>[36,37]</sup>。

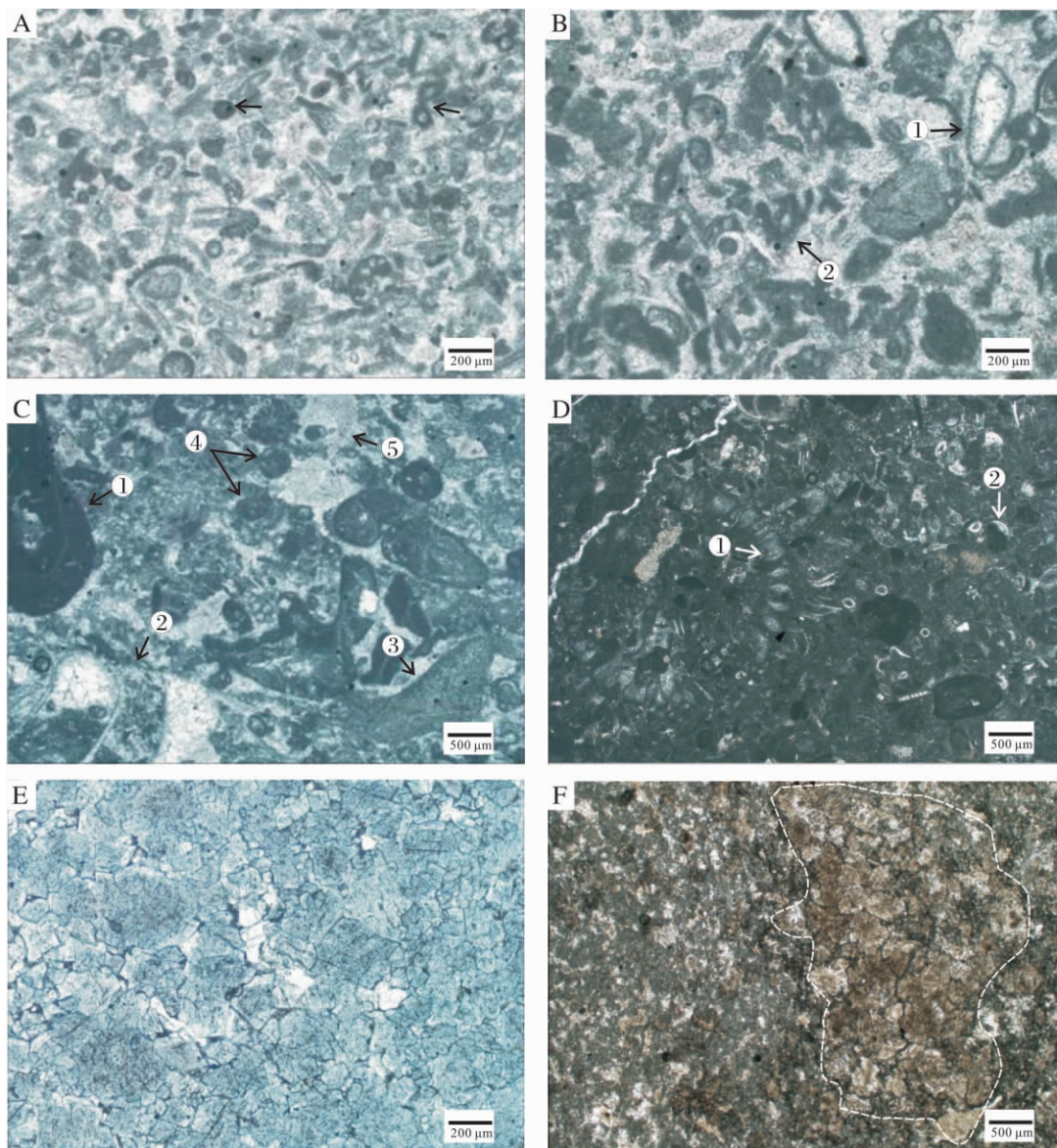


图 4 广元剖面微相特征

A. 似球粒泥粒岩—颗粒岩; B. 似球粒—包粒颗粒岩,图中①为包粒,②为似球粒; C. 有孔虫—钙藻泥粒岩,图中①为 Tubiphytes,②为腹足碎片,③为翁格达藻碎片,④为有孔虫,⑤为海百合; D. 生物碎屑粒泥岩,图中①为粗枝藻碎片,②为单瓣介形壳; E. 它形中粗晶白云岩; F. 白云岩化灰岩,白线框内为白云岩,框外为尚未交代的灰岩。

Fig.4 Microfacies characteristics at the Shangsi section

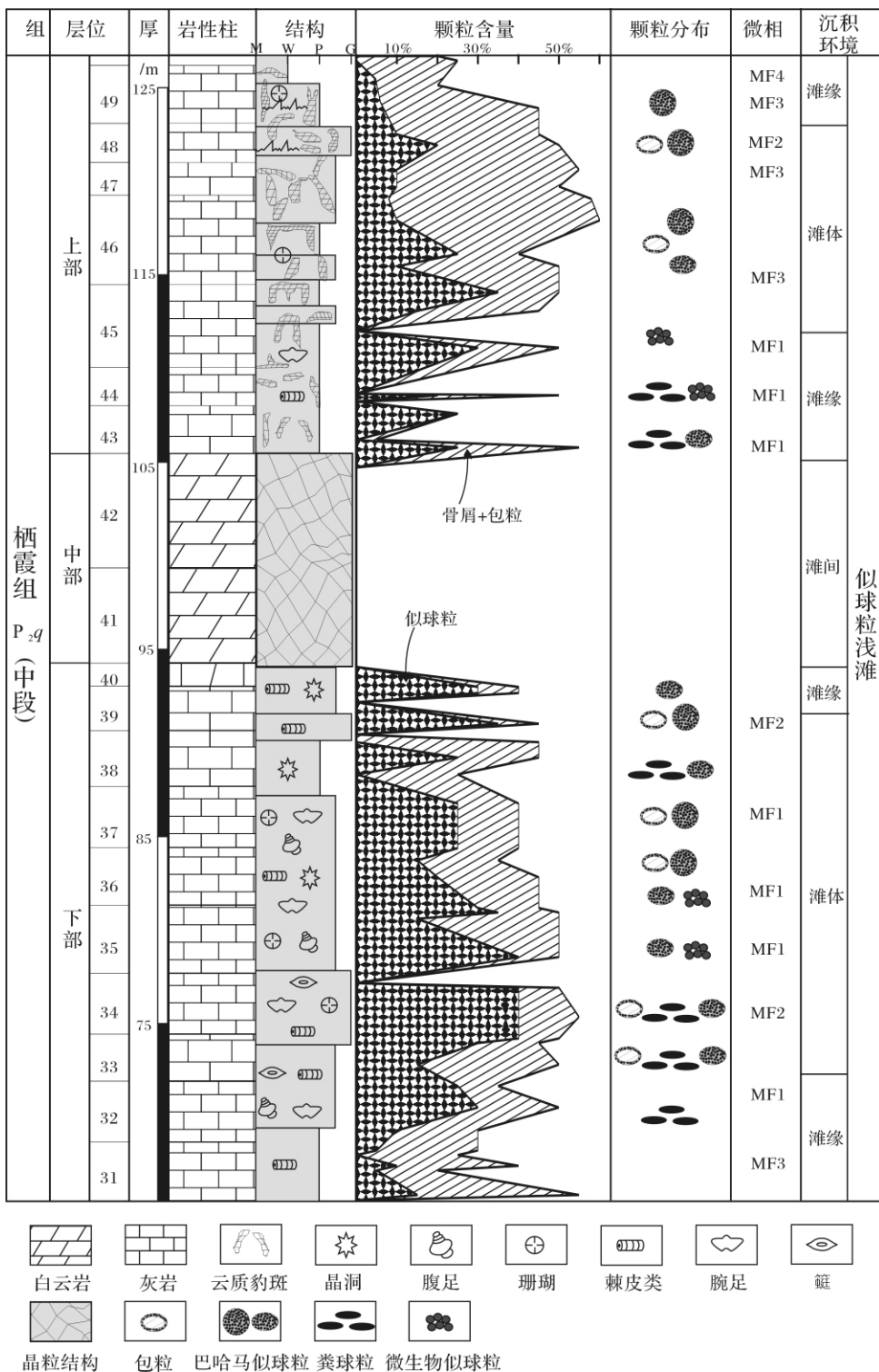


图5 上寺剖面似球粒灰岩沉积特征

Fig. 5 Sedimentary characteristics of the peloidal limestone at the Shangsi section

## 6 讨论

由于不同的颗粒类型可能代表完全不同的沉积

环境,因此基于碳酸盐岩颗粒类型的碳酸盐岩相的精细研究十分必要<sup>[1, 18, 38, 39]</sup>。按成滩的生屑类型,王立亭<sup>[40]</sup>将中国南方二叠纪的碳酸盐岩浅滩划分为:虫

屑滩、介屑滩、棘屑滩和鲕滩,其中前两种发育在台内低能环境,后两种发育在台缘高能环境。Bádenas B等<sup>[5]</sup>对西班牙晚侏罗世浅水碳酸盐岩缓坡的研究,总结出三种非骨屑颗粒主导的碳酸盐岩缓坡模式:似球粒为主的低能缓坡、鲕粒为主的中高能缓坡以及以高能鲕粒、核形石为主的高能缓坡。

对广元上寺剖面栖霞组中段似球粒灰岩,前人根据本段灰岩含藻类、有孔虫等浅水生物颗粒含量高,颗粒分选、磨圆中等一较好,粒间充填物以亮晶为主等特征,确定为浅水高能生物滩相或浅缓坡沉积<sup>[9-11]</sup>。事实上,研究层段的颗粒类型并非只含有生物碎屑。似球粒和包粒占很大比重,且类型多样,以巴哈马似球粒最为丰富,所以研究层段的滩相其实为似球粒滩(图5)。

从颗粒类型上看,似球粒是在相对低能的环境中形成的颗粒组分<sup>[2,18,41]</sup>。但是只有原地形成的似球粒才能代表一个低能的沉积环境。因为似球粒和包粒很可能是来自于台地内部的沉积物,被动荡的水体带到较高能的滩体位置沉积下来。例如现代巴哈马滩背风面相对高能部位的沙滩体沉积物,其主要颗粒为似球粒、包粒。而这些颗粒并不是原地形成的,而是由向广海方向的水流从滩内部泻湖中带来的<sup>[2]</sup>。大量包粒的存在和颗粒普遍的泥晶化表明颗粒在沉积物/水界面长时间停留,使得石内藻等钻孔生物有足够的时间对其进行钻孔、磨蚀,这种过程一般发生在滩体侧翼较动荡的沉积环境<sup>[42,43]</sup>。广元剖面的似球粒滩中似球粒主要为泥晶化成因的巴哈马型似球粒,生物碎屑主要为红藻、底栖有孔虫、海百合等浅水相生物,有些层位生物化石保存比较好(图4C)。从颗粒组成和保存看,这些颗粒是碳酸盐台地内部生物在近原地或短距离搬运后沉积的,没有经过长距离搬运。从成岩作用看,在浅水碳酸盐岩沙滩体中,海底成岩作用是以能量为基础的。在相对高能区,如台地边缘,碳酸盐砂较丰富,孔隙发育,促进了胶结作用和硬底的形成。在相对低能区,更多的灰泥堆积,孔隙水相对停滞,胶结作用只是局部发育较好,造成了颗粒间亮晶和灰泥的同时存在<sup>[2]</sup>。在广元上寺剖面的似球粒灰岩中,似球粒之间以亮晶胶结为主,其次为泥质充填。亮晶、灰泥同时的存在表明水动力还不足以把灰泥冲洗干净,因此是一种中等能量的环境。综上所述,广元剖面的似球粒滩是一种较鲕粒滩低能的滩。

此外,乐山沙湾、重庆南川、宣汉渡口、昆明西山

地区在相近的层段也有这种似球粒滩的发育,表明这种似球粒滩是普遍存在的,只不过被我们忽视了或是识别成其它类型的滩。由于似球粒滩所代表的水体能量相对于鲕粒、生物碎屑滩低,在沉积环境的判别上有较大差异,不能混为一谈,应该予以重视。似球粒滩的深入研究对碳酸盐岩沉积学研究、华南二叠纪沉积古地理格局认识及油气勘探开发具有重要的理论和现实意义。

## 7 结论

(1) 四川广元剖面中二叠世栖霞组中段为似球粒浅滩相沉积,区别于典型鲕粒滩和生物碎屑滩,它是一种相对低能滩。包括滩体、滩缘、滩间三个亚相。

(2) 研究层段主要发育三种似球粒类型:粪球粒、巴哈马似球粒和微生物似球粒。其中,泥晶化成因的巴哈马似球粒最为发育。

(3) 这种似球粒浅滩在华南二叠纪地层中广泛发育,对其颗粒的精细组成、形成的水体环境和空间展布深入研究很有必要。

致谢 野外工作和论文写作中得到刘冬勤、王夏、刘喜停、李飞同学的帮助;两位评审专家提出了中肯的修改意见。在此一并表示感谢!

## 参考文献 (References)

- 1 Ruf M, Aigner T. Facies and poroperm characteristics of a carbonate shoal ( muschelkalk , south German basin ): A reservoir analogue investigation [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2004, 27(3): 215-239
- 2 Tucker M E, Wright V P. *Carbonate Sedimentology* [M]. London: Blackwell Publishing, 1990: 10-42
- 3 Scholle P A, Bebout D G, Moore C H: *Carbonate Depositional Environments* [M]. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1983: 1-705
- 4 Shinn E A, Lidz B H, Holmes C W: High-energy carbonate-sand accumulation, the quicksands, southwest florida keys [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1990, 60(6): 952-967
- 5 Bdenas B, Aurell M. Facies models of a shallow-water carbonate ramp based on distribution of non-skeletal grains ( Kimmeridgian, Spain) [J]. *Facies* 2010 56(1): 89-110
- 6 Wynn T C. State-wide sequence framework of mixed carbonate-siliciclastic ramp reservoirs: Mississippian big lime, west Virginia, USA [D]. Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003
- 7 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集 (震旦纪—三叠纪) [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-178 [Liu Baojun, Xu Xiaosong: Atlas of Lithofacies and Paleogeography of South China (Sinian to Triassic) [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-178]

- 8 冯增昭,杨玉卿,金振奎 *et al.* 中国南方二叠纪岩相古地理[M]. 山东东营:石油大学出版社,1997:1-242 [Feng Zengzhao, Yang Yuqing, Jin Zhenkui, *et al.* Permian Lithofacies Paleogeography of South China [M]. Dongying Shandong: Petroleum University Press, 1997: 1-242]
- 9 宋章强,王兴志,曾德铭. 川西北二叠纪栖霞期沉积相及其与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2005,27(6):20-23 [Song Zhanqiang, Wang Xingzhi, Zeng Deming. Sedimentary facies and its relationship with petroleum-gas at Chihsia age of Permian in the northwest of Sichuan [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(6): 20-23]
- 10 李霞,胡明毅,李士祥. 龙门山—米苍山前缘二叠系碳酸盐缓坡沉积[J]. 石油天然气学报,2005,27(1):36-38 [Li Xia, Hu Mingyi, Li Shixiang. The Permian carbonate ramp deposits in the Longmen Mountain—Micang Mountain Front [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1): 36-38]
- 11 黄先平,杨天泉,张红梅. 四川盆地二叠统沉积相及其勘探潜力区研究[J]. 天然气工业,2004,24(1):10-12 [Huang Xianping, Yang Tianquan, Zhang Hongmei. Research on the sedimentary facies and exploration potential areas of Lower Permian in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(1): 10-12]
- 12 李子舜,詹立培,朱秀芳,等. 古生代—中生代之交的生物绝灭和地质事件——四川广元上寺二叠系—三叠系界线事件的初步研究[J]. 地质学报,1986,(1):1-21 [Li Zishun, Zhan Lipai, Zhu Xiufang, *et al.* Mass extinction and geological events between Palaeozoic and Mesozoic Era [J]. Acta Geologica Sinica, 1986, (1): 1-21]
- 13 金若谷. 四川龙门山北段晚二叠世晚期沉积环境及沉积模式[J]. 沉积学报,1987,5(4):73-90 [Jin Ruogu. Sedimentary environment and model of the late Permian in Longmenshan area, Sichuan province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(4): 73-90]
- 14 蔡开平,王应蓉,杨跃明, *et al.* 川西北广旺地区二、三叠系烃源岩评价及气源初探[J]. 天然气工业,2003,23(2):10-14 [Cai Kaiping, Wang Yingrong, Yang Yueming, *et al.* Evaluation of hydrocarbon source rocks in Permian and Triassic at Guangyuan—Wangcang Region in Northwest Sichuan Basin and a primary discussion on gas source [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2): 10-14]
- 15 Yan J, Ma Z, Xie X, *et al.* Subdivision of Permian fossil communities and habitat types in northeast Sichuan, south China [J]. Journal of China University of Geosciences 2008, 19(5): 441-450
- 16 Fahraeus L E, Slatt R M, Nowlan G S. Origin of carbonate pseudopellets [J]. Journal of Sedimentary Research, 1974, 44(1): 27-29
- 17 Bathurst R G C. Carbonate Sediments and Their Diagenesis [M]. Elsevier Science & Technology, 1975: 1-658
- 18 Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004: 1-976
- 19 Macintyre I G. Submarine cements—the peloidal question [J]. Carbonate Cements: SEPM, Special Publication, 1985, 36: 109-116
- 20 Folk R L, Robles R. Carbonate sands of isla perez, alacran reef complex, Yucatan [J]. The Journal of Geology, 1964, 72(3): 255-292
- 21 Flügel E. Microfacies Analysis of Limestones [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1982: 1-633
- 22 Reid R P, Macintyre I G, Post J E. Micritized skeletal grains in northern Belize lagoon; a major source of Mg-calcite mud [J]. Journal of Sedimentary Research, 1992, 62(1): 145-156
- 23 Reid R P, Macintyre I G. Carbonate recrystallization in shallow marine environments: A widespread diagenetic process forming micritized grains [J]. Journal of Sedimentary Research, 1998, 68(5): 928-946
- 24 Coniglio M, James N P. Calcified algae as sediment contributors to early Paleozoic limestones; evidence from deep-water sediments of the cow head group, western Newfoundland [J]. Journal of Sedimentary Research, 1985, 55(5): 746-754
- 25 Samankassou E, Tresch J, Strasser A. Origin of peloids in early Cretaceous deposits, Dorset, south England [J]. Facies, 2005, 51(1): 264-274
- 26 Adachi N, Ezaki Y, Liu J. The fabrics and origins of peloids immediately after the end-Permian extinction, Guizhou province, south China [J]. Sedimentary Geology, 2004, 164(1-2): 161-178
- 27 Alexandersson T. Micritization of carbonate particles: Processes of precipitation and dissolution in modern shallow-marine sediments [J]. Bull Geol Inst Univ Uppsala, New Series, 1972, 3: 201-236
- 28 Chafetz H S. Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation of calcite [J]. Journal of Sedimentary Research, 1986, 56(6): 812-817
- 29 Bathurst R G C. Boring algae, micrite envelopes and lithification of molluscan biosparites [J]. Geological Journal, 1966, 5(1): 15-32
- 30 Reid R P, Macintyre I G. Microboring versus recrystallization: Further insight into the micritization process [J]. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70(1): 24-28
- 31 Kobluk D R, Risk M J. Calcification of exposed filaments of endolithic algae, micrite envelope formation and sediment production [J]. Journal of Sedimentary Research, 1977, 47(2): 517-528
- 32 荣辉, 焦养泉, 吴立群, 等. 川东北开县满月甘泉剖面长兴生物丘构成及成丘模式 [J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 9-17 [Rong Hui, Jiao Yangquan, Wu Liqun, *et al.* Organic bioherms and their forming models of Changxing Formation in Manyue-Ganquan section of Kaixian, Northeast Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 9-17]
- 33 石新, 王兴志, 张帆, 等. 川西北地区栖霞组白云岩储集层研究 [J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(2): 13-16 [Shi Xin, Wang Xingzhi, Zhang Fan, *et al.* The study of dolomite reservoirs in Qixia Formation, Northwest of Sichuan area [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(2): 13-16]
- 34 徐世琦, 周建文, 曾庆, 等. 龙门山北段二叠系栖霞组二段白云岩储层特征 [J]. 天然气工业, 2005, 25(增刊 A): 59-61 [Xu Shiqi, Zhou Jianwen, Zeng Qing, *et al.* Dolomite reservoir characteristics of P<sub>1</sub>q<sup>2</sup> in the North section of Longmen Mountain [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(Suppl. A): 59-61]
- 35 Burgess P M. Modeling carbonate sequence development without relative sea-level oscillations [J]. Geology, 2001, 29(12): 1127-1130
- 36 Strasser A, Vdrine S. Controls on facies mosaics of carbonate plat-



- forms: A case study from the Oxfordian of the Swiss Jura [J]. Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 2009, 41: 199-213
- 37 Ginsburg R N. Landward movement of carbonate mud: New model for regressive cycles in carbonates (abstract) [J]. AAPG Bulletin, 1971, 55: 340
- 38 Elicki O, Schneider J, Shinaq R. Prominent facies from the lower/middle Cambrian of the dead sea area (Jordan) and their palaeodepositional significance [J]. Bulletin de la Société géologique de France, 2002, 173(6): 547-552
- 39 Tišljarić J, Zagreb V. The kimmeridgian tidal-bar calcarenite facies of western Istria (western Croatia, Jugoslavia) [J]. Facies, 1987, 17(1): 277-283
- 40 王立亭, 陆彦邦, 赵时久, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 33-34 [Wang Liting, Lu Yanbang, Zhao Shijiu, et al. Permian Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 33-34]
- 41 Sun S Q, Wright V P. Peloidal fabrics in upper Jurassic reefal limestones, Weald basin, southern England [J]. Sedimentary Geology, 1989, 65(1-2): 165-181
- 42 Tomašových A. Microfacies and depositional environment of an upper Triassic intra-platform Carbonate basin: The facies unit of the west carpathians (Slovakia) [J]. Facies, 2004, 50(1): 77-105
- 43 Kobluk D R, Risk M J. Micritization and carbonate-grain binding by endolithic algae [J]. AAPG Bulletin, 1977, 61(7): 1069-1082

## Microfacies of Peloidal Limestone of Middle Permian Chihhsia Formation at Guangyuan, Sichuan Province and Its Sedimentary Significance

MA Zhi-xin<sup>1,2</sup> LI Bo<sup>1</sup> YAN Jia-xin<sup>1</sup> XUE Wu-qiang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081)

**Abstract** Carbonate shoal develops in the middle part of Chihhsia Formation at Shangsi Section of Guangyuan, Sichuan Province. The outcrop consists predominantly of thick bedded to massive limestone with intercalated dolostone. The rocks are light grey and crystalline, with some fossil fragments. Under microscope abundant peloids and cortoids were identified. The peloids are classified into three types: fecal pellets, bahamite peloids and microbial peloids. The bahamite peloids are the most common grains observed. They are micritized bioclasts in origin, mainly including red algae, benthic foraminifera, crinoid and minor other shallow water organisms. Fossils are well-preserved in some layers. In light of particle composition and preservation, these particles derived from organic hardparts within carbonate platform, and accumulated *in-situ*, at least without major transportation. Intergranular porosities and organic cavities are filled mainly with sparry calcite cement with minor carbonate mud. Such a dominant sparry calcite cementation texture indicates the water energy was not strong enough to winnow off all the mud. Consequently, the peloidal shoal develops in relatively low-medium energy environment. Microfacies types are grouped into peloid packstone-grainstone, peloid-cortoid grainstone, foraminifera-algae packstone and bioclast wackstone. Based on grain type, sedimentary fabric and microfacies analysis, the peloidal shoal can be subdivided into shoal, shoal fringe and inter-shoal. In addition, such a peloidal shoal is widespread in the Permian strata of South China. Recognition of such a shoal and further study on its grain composition, depositional environment and spatial distribution will be of great significance on the understanding of Permian palaeogeographic framework of South China.

**Key words** peloid; depositional environment; Guangyuan; Chihhsia Formation