

文章编号: 1000-0550(2012)05-0834-13

四川江油—广元地区上石炭统碳酸盐岩微相及其沉积环境分析^①

徐锦龙^{1,2} 贾志海¹ 王伟¹ 罗雷¹ 李俊青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—广元地区上石炭统碳酸盐岩发育良好,厚度不大,化石丰富,含多层紫红色砾屑生物碎屑灰岩和泥岩韵律层,在整个华南同期沉积中颇具特色。根据野外观察和室内显微分析,共识别出15种微相类型。根据这些微相类型在纵向和横向上的组合与分布特点,参考Wilson的标准微相和镶边碳酸盐岩台地沉积模式,利用微相组合分析将这些微相组合划分到4个相带,即蒸发台地、局限台地、开阔台地和台地边缘浅滩。沉积相带的变化特征表明研究区晚石炭世存在着多期海侵—海退旋回,其中在黄龙组上段沉积中期海侵达到最大值,使得川西北大部分地区和川东地区广泛接受碳酸盐岩沉积。江油—广元地区上石炭统特殊岩层的研究表明:黄龙组下部4套红层具有浅海陆棚上部近积风暴岩的特征;船山组核形石灰岩粒序层及其地球化学特征表明核形石的形成可能与晚石炭世晚期全球冰期事件有密切的关系。

关键词 微相组合 沉积环境 碳酸盐岩 上石炭统 江油—广元地区

第一作者简介 徐锦龙 男 1985年出生 在读研究生 古生物学与地层学 E-mail: xujinlong0909@126.com

通讯作者 贾志海 E-mail: zhihai.jia@gmail.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

“微相”一词最早由Brown(1943)提出,用来表示岩石薄片在显微镜下所呈现的鉴别标志。在最近几十年里,碳酸盐岩微相已成为碳酸盐岩研究中不可缺少的内容。许多学者^[1-9]对碳酸盐岩及其微相的研究作出了重要的论述。Flügel^[8]根据现代碳酸盐岩的资料对Wilson^[5]碳酸盐岩镶边台地模式进行了适当的修正,将碳酸盐岩按其显微特征的不同区分为26个标准微相类型,并将这些标准微相归入10个相应的相带,进而对沉积环境进行分析。碳酸盐岩微相不仅代表碳酸盐岩微观(显微)特征的总和,而且反映了一定时间和空间范围内沉积环境和沉积特征的对应性。碳酸盐岩中油气藏的发现极大的促进了碳酸盐岩微相分析的发展,使其成为碳酸盐岩沉积环境分析、相带划分、古气候条件推测和岩相古地理恢复研究中不可或缺的沉积学研究方法。

四川江油—广元地区位于龙门山推覆构造带的西北部(图1),石炭纪处于扬子板块西缘的半封闭海湾环境,发育一套以半局限台地、开阔台地相为主的碳酸盐沉积^[10]。该区上石炭统发育良好,厚度不大,化石丰富,含多层紫红色砾屑生物碎屑灰岩与泥岩韵

律层,在整个华南同期沉积中颇具特色。许多学者对其进行了研究,并取得一系列成果^[10-13]。笔者在研究江油—广元地区上石炭统剖面时,着重对黄龙组下部灰色生物碎屑灰岩夹4层紫红色含砾屑生物碎屑灰岩,中部灰白色生物碎屑灰岩,上部灰色含生物灰泥石灰岩和船山组下段浅灰色多层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层的微相特征进行了较为系统的观察和分析,试图通过碳酸盐岩微相组合分析,来探讨江油—广元地区晚石炭世碳酸盐岩沉积环境的演变。

1 地层特征

江油—广元地区上石炭统发育良好,出露完整,自下而上可分为黄龙组下段、黄龙组中段、黄龙组上段和船山组下段(图2)。以生物碎屑灰岩和核形石灰岩为主,局部遭受强烈的白云石化作用。

黄龙组下段:总厚度为0~30m。浅灰色—灰白色厚层生物碎屑灰岩夹4层灰绿色厚层介壳灰岩(局部缺失)和紫红色厚层砾屑灰岩—生物碎屑灰岩—泥岩韵律层。产筴、非筴有孔虫、藻类、腕足类和棘皮动物等化石。与下伏总长沟组呈平行不整合接触。

^①国家973前期预研项目(编号2010CB434809)和国家自然科学基金项目(批准号:41072085、40902096)联合资助。
收稿日期:2011-08-10;收修改稿日期:2011-12-01

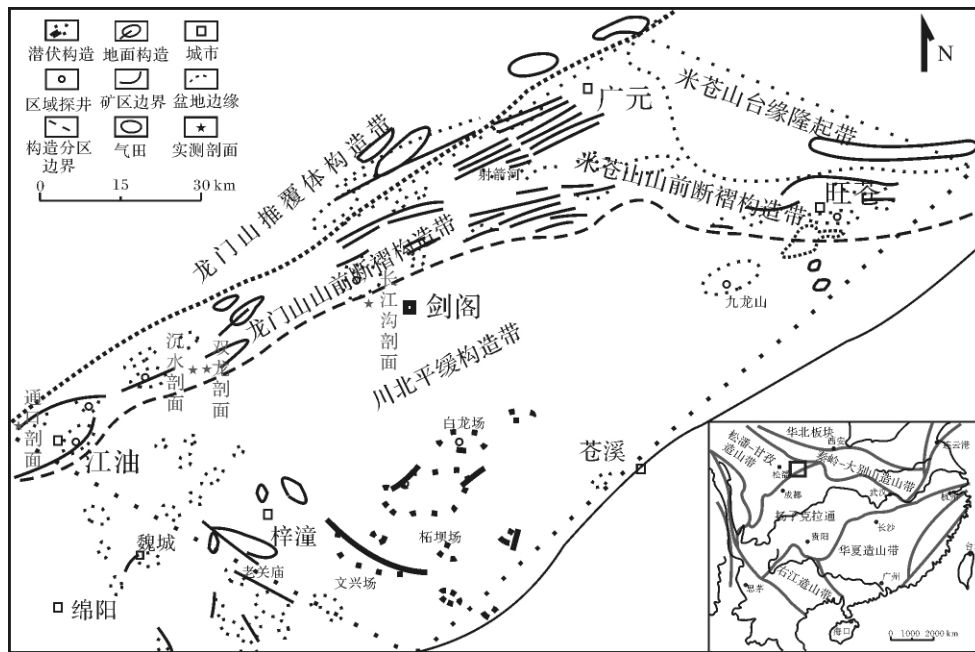


图1 研究区构造区划及其剖面位置图(据李国华 2003 修改)

Fig. 1 Sketch map of tectonic division and section location of the study area(modified from Li Guohua 2003)

黄龙组中段: 总厚度 20 ~ 40 m。浅灰色—灰白色厚层—块状生物碎屑灰岩夹黄绿色泥岩, 顶部见冲刷界面。产筳、非筳有孔虫、腕足类和棘皮动物等化石。

黄龙组上段: 总厚度 40 ~ 60 m。下部灰白色厚层含生物碎屑灰岩和灰泥石灰岩, 局部白云石化强烈。上部为灰白色生物碎屑灰岩, 顶部为石英岩屑灰岩。含有孔虫、藻类、介形虫和腹足类等化石。

船山组下段: 总厚度 20 ~ 40 m。下部为灰白色厚层生物碎屑灰岩, 上部为灰白色厚层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层, 其中在沉水剖面发育至少 13 层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层。含筳、藻类、有孔虫等化石。与下伏黄龙组呈平行不整合/整合接触, 与上覆船山组上段呈整合接触。

2 碳酸盐岩微相类型

碳酸盐岩中颗粒和基质的类型及其特征是划分微相(MF)类型、分析沉积环境的重要依据。本研究以 Flügel^[8]的微相研究清单为依据, 并参考了 Adams 等^[15]的《沉积岩显微图册》。颗粒、基质百分比的确定以 Bacell 和 Basellini 的比较图版^[8]为标准, 碳酸盐岩的命名采用了 Dunham^[2]的分类方案, 标准微相(SMF)的确定以 Flügel^[8]和 Wilson^[5]的研究成果为基础。

MF1 灰泥石灰岩

灰泥石灰岩按照有无生物碎屑可细分为以下 2 个亚相:

MF1-1 灰泥石灰岩(图版 I-1)

主要由泥晶方解石组成, 未见生物碎屑。

MF1-2 含生物灰泥石灰岩(图版 I-2)

主要由泥晶方解石组成, 镜下见较完整的介形虫和腹足类碎屑, 含量一般少于 5%。

以上两种亚相类型相当于 Wilson 的 SMF23, 表明当时的水动力条件微弱, 形成于低能的局限台地环境。

MF2 生物碎屑粒泥灰岩

生物碎屑粒泥灰岩按照生物碎屑类型的不同可细分为以下 2 个亚相:

MF2-1 藻粒泥灰岩(图版 I-3)

类似于 Wilson 的 SMF8。颗粒成分为藻类(25%)和少量有孔虫及介形虫。藻类保存完整, 横切面呈圆形, 纵切面呈长条状, 种属单一。基质为泥晶方解石, 含量 70%。完整保存的藻类和大量泥晶方解石的出现表明沉积物形成于潟湖环境。

MF2-2 生物碎屑粒泥灰岩(图版 I-4)

相当于 Wilson 的 SMF8。颗粒成分为生物碎屑(约 15% ~ 30%)。生物碎屑保存较好, 以藻类和孔虫为主, 偶见介形虫和腕足类。基质为泥晶方解

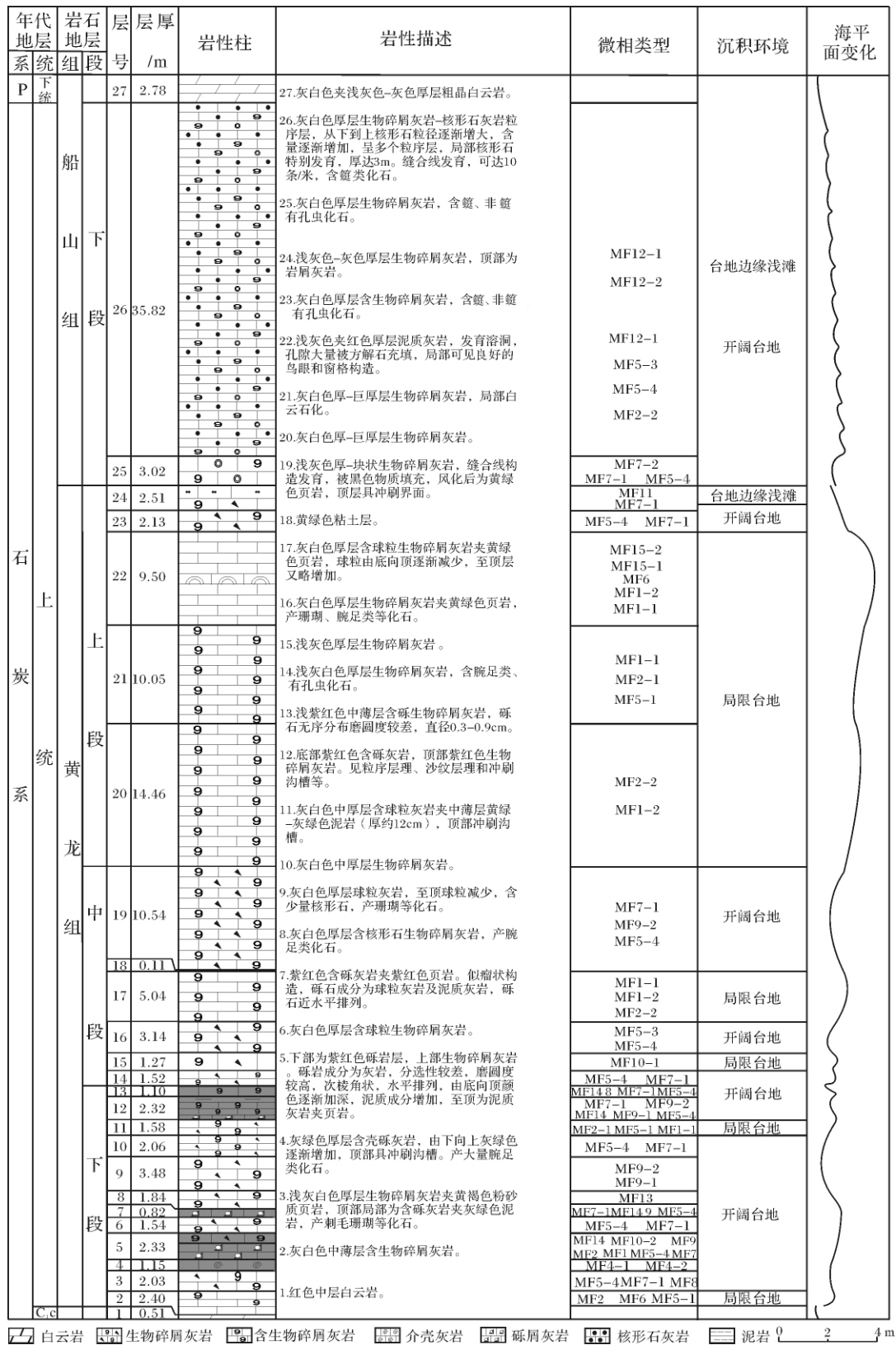


图2 江油市马角坝地区上石炭统岩性特征、微相组合类型和沉积环境演变图

Fig. 2 Lithologic characteristics, microfacies combination types and depositional environments of the Upper Carboniferous carbonates in the Majiaoba area, Jiangyou County

石,含量70%~80%,局部见少量白云石化作用。生物含量低且保存良好及大量泥晶方解石基质的存在表明沉积物形成于浪基面以下的低能开阔台地环境。

MF3 鸟眼—窗格似球粒泥粒灰岩(图版 I-5)

相当于 Wilson 的 SMF21。由泥晶方解石组成。泥晶方解石由微生物似球粒组成,含量80%,直径20~50 μm,分选性较好,表明泥晶方解石的形成可能与微生物的活动有密切的关系。鸟眼—窗格呈扁平状和不规则状,长轴方向与层面近似平行,被亮晶方解石充填。以上特征表明此微相出现于潮上带和潮间带环境(局限潟湖)环境。

MF4 介壳粒泥—泥粒灰岩

介壳粒泥—泥粒灰岩(图版 I-6)作为风暴滞留层,均由腕足类组成,下部腕足类破碎严重,中部保存较好,长轴具有很好的定向性,上部变得杂乱,指示风暴浪由弱到强又逐渐减弱的变化过程。按照基质成分和腕足类的保持状态可分为以下2种亚相:

MF4-1 介壳粒泥灰岩(图版 I-7)

近似于 Wilson 的 SMF12—BRACH。颗粒成分主要为腕足类(20%~30%),保存较好,偶见有孔虫和介形虫。基质为泥晶方解石,含量70%。丰富的腕足碎片与风暴作用有密切的关系,可能形成于开阔台地环境。

MF4-2 介壳泥粒灰岩(图版 I-8)

相当于 Wilson 的 SMF12—BRACH。颗粒成分主要为腕足类(50%~60%),保存较好,少数能见到2~3层纤状和粒状内部结构。腕足类的凸面向上,呈良好的定向性。基质为泥晶方解石,含量40%~50%,局部见重结晶现象。该相显示清晰的颗粒支撑结构。腕足类多、凸面向上、良好的定向性表明腕足类为后期搬运而来,大量的泥晶方解石基质表明腕足类堆积于浪基面附近,作为介壳滞留层与风暴流有一定的关系。

MF5 生物碎屑泥粒灰岩

生物碎屑泥粒灰岩是研究区分布最广泛的微相类型,生物碎屑含量大,类型丰富,保存状态不一。按照生物类型的不同可细分为以下4个亚相:

MF5-1 藻泥粒灰岩(图版 I-9)

相当于 Wilson 的 SMF18。颗粒成分为藻类(约50%~70%)。藻类保存较好,横切面呈椭圆形,纵切面呈短长条状,以红藻(裸松藻)或绿藻(叶状藻)层的形式出现。基质为泥晶方解石,含量30%~50%。单一的藻类和泥晶方解石基质的出现表明其

形成于水动力条件微弱的局限台地环境。

MF5-2 鲕泥粒灰岩(图版 I-10)

相当于 Wilson 的 SMF18。鲕保存完整,毫米级大小,含量60%。基质为泥晶方解石,含量20%,胶结物为亮晶方解石,含量15%。压溶现象明显,颗粒之间大部分为微缝合线接触,亮晶的出现可能与后期成岩作用有密切的关系。该相显示较清晰的颗粒支撑结构。完整的鲕类、泥晶方解石表明其形成于水动力条件较弱的开阔台地环境。

MF5-3 含核形石生物碎屑泥粒灰岩(图版 I-11)

相当于 Wilson 的 SMF10。颗粒成分为生物碎屑(40%)和核形石(10%)。生物碎屑保存较好,从数量上看主要是藻类、非鲕有孔虫、鲕、棘皮动物和腕足类。核形石以椭圆形为主,粒径大于5 mm,核心为内碎屑和生物碎屑,呈不规则状,纹层以泥晶纹层为主,受后期成岩作用影响圈层不明显。基质为泥晶方解石,含量15%。亮晶方解石胶结,含量35%。根据核形石和较完整的生物碎屑判断,该微相形成于水动力条件中等偏下的开阔台地环境。

MF5-4 生屑泥粒灰岩(图版 I-12)

相当于 Wilson 的 SMF18。颗粒成分是有孔虫(15%~25%)、藻(10%~20%)、少量腕足类、棘皮动物、偶见集合粒和内碎屑。生物碎屑较完整,颗粒的边缘受到藻类或生物钻孔的影响呈不规则的泥晶化现象,其中以棘皮动物碎屑最为明显。基质为泥晶方解石,含量40%。胶结物为亮晶方解石,含量15%。丰富的底栖有孔虫和钙质绿藻,生物类型多样和一定的灰泥基质表明其形成于水动力条件中等的开阔台地环境。

MF6 灰泥球粒颗粒灰岩(图版 I-13)

近似于 Wilson 的 SMF16—LAMINTED。颗粒成分为灰泥球粒(60%)和生物碎屑(3%)。灰泥球粒由泥晶方解石组成,以椭圆形为主,直径以10~40 μm为主,分选性差,局部显示粘结结构。生物碎屑以有孔虫和藻类为主,保存较好。基质为泥晶方解石,含量10%。胶结物为亮晶方解石,含量30%。灰泥球粒、粘结结构和少量的泥晶基质表明其形成于具有良好水旋回的局限台地环境。

MF7 生物碎屑颗粒灰岩

生物碎屑颗粒灰岩按照生物类型及其保存状态可细分为以下3个亚相:

MF7-1 生物碎屑颗粒灰岩(图版 I-14)

相当于 Wilson 的 SMF18。颗粒成分为有孔虫

(25%)、藻类(20%)和少量棘皮动物与腕足类。生物碎屑破碎程度不一,分选性差。亮晶方解石胶结,含量55%。类型丰富的生物碎屑表明其形成于水动力条件较强的开阔台地环境。

MF7-2 鲕颗粒灰岩(图版 I-15)

相当于 Wilson 的 SMF10。颗粒成分为鲕(40%~70%)和球粒(约5%)。鲕保存较好,近毫米级大小,内部结构清晰。亮晶方解石胶结,含量30%~50%。该相显示清晰的颗粒支撑结构。生物碎屑较完整和亮晶方解石胶结表明其形成于高能动荡的浅水开阔台地环境。

MF7-3 破碎有孔虫颗粒灰岩(图版 II-4)

相当于 Wilson 的 SMF18。颗粒成分为生物碎屑(约40%~60%)、球粒(约5%)和极少量鲕粒与集合粒。生物碎屑破碎严重,形状多样,大小不一,直径30~1000 μm 不等,杂乱排列,分选性差,从数量上看主要是非鲕有孔虫和鲕(大小近毫米级)等。亮晶方解石胶结,含量40%。该相显示较清晰的颗粒支撑结构。生物碎屑强烈破碎和亮晶方解石胶结表明其形成于浅水开阔台地的高能环境。

MF8 包壳生物碎屑颗粒灰岩(图版 II-2、3)

相当于 Wilson 的 SMF11。颗粒成分为包壳生物碎屑(40%)和少量未包壳生物碎屑与集合粒等。包壳生物碎屑形状多样,以椭圆形和长条状为主,大小不一,直径100~500 μm 不等,分选性差,无定向性。核心主要为藻类和孔虫,遭受不同程度的破碎。亮晶方解石胶结,含量55%,见棘皮类同轴增生和两世代胶结现象,一代为犬齿状,二代为粒状。包壳生物碎屑表明其形成于晴天浪基面以上被簸洗的台地边缘环境。

MF9 似球粒颗粒灰岩

似球粒颗粒灰岩在研究区分布比较局限,按照巴哈马似球粒中有无生物碎屑可细分为以下2种亚相:

MF9-1 巴哈马似球粒颗粒灰岩(图版 II-4)

近似于 Wilson 的 SMF16。颗粒成分为巴哈马似球粒(35%)和生物碎屑(5%)等。单一的巴哈马似球粒以圆形—椭圆形为主,大小不一,直径50~500 μm 不等,分选性较好,部分内部未完全泥晶化的生物碎屑仍可辨认。复合的巴哈马似球粒含量比较少,形状不规则,多为泥晶化生物碎屑被灰泥胶结在一起。胶结物为亮晶方解石,含量60%。巴哈马似球粒、生物碎屑和亮晶方解石胶结表明其形成于开阔台地边缘浅滩环境。

MF9-2 生物碎屑—巴哈马似球粒颗粒灰岩(图版 II-5)

近似于 Wilson 的 SMF16。颗粒成分为巴哈马似球粒(35%)、藻类(10%)、有孔虫(10%)和少量棘皮动物与腕足类。巴哈马似球粒呈椭圆形,直径100~150 μm。生物碎屑以小有孔虫和藻类为主,粒径与巴哈马似球粒近似,分选性较好。亮晶方解石胶结,含量40%。基质为泥晶方解石,含量5%。以上特征表明其形成于水动力较强的开阔台地环境。

MF10 鲕粒颗粒灰岩

鲕粒颗粒灰岩分布较局限,根据鲕粒的纹层特征可细分为以下2种亚相:

MF10-1 放射状鲕粒颗粒灰岩(图版 II-6)

相当于 Wilson 的 SMF15—R。颗粒成分为放射状鲕粒(约45%)、生物碎屑(5%)和少数集合粒。鲕粒以正常鲕和薄皮鲕为主,以生物碎屑为核心,核心的形状决定了鲕粒的形状,呈椭圆形—扁椭圆形,直径0.3~0.5 mm,分选性中等。同心层清晰,呈放射状,为典型的放射鲕。生物碎屑为藻类、有孔虫和棘皮动物等,多被泥晶套包裹。亮晶方解石胶结,含量50%。丰富的同心放射状鲕粒、生物碎屑和亮晶方解石胶结表明其可能形成于水动力条件很强的局限台地近海边缘环境。

MF10-2 泥晶化鲕粒颗粒灰岩(图版 II-7)

相当于 Wilson 的 SMF15—C。颗粒成分为鲕粒(约50%)和生物碎屑(5%)。鲕粒主要为泥晶鲕粒(约40%)和薄皮鲕(约10%)均遭受强烈的泥晶化作用。泥晶鲕粒以长圆形和圆形为主,少量形状不规则,直径100~600 μm 不等,分选性中等。薄皮鲕以椭圆形为主,直径300~500 μm 不等,核心为生物碎屑或球粒,同心纹清晰。生物碎屑主要为非鲕有孔虫和鲕,多被泥晶套包裹。亮晶方解石胶结,含量45%。该相显示清晰的颗粒支撑结构。鲕粒多形成于台地边缘或浅水潮下带,水动力条件强,它们和亮晶方解石胶结物的出现表明其很可能形成于水动力条件很强的台地边缘环境。

MF11 含鲕粒岩屑颗粒灰岩(图版 II-8)

未见标准微相。颗粒成分为岩屑(约45%)和鲕粒(约20%)。岩屑主要由石英组成,呈圆形—椭圆形,磨圆度较好,直径0.1~0.3 mm 不等,分选性较好。鲕粒呈圆形—椭圆形,直径100~300 μm 不等,多为薄皮鲕,以石英颗粒为核心,同心纹清晰。亮晶方解石胶结,含量35%。该相显示清晰的颗粒支撑

结构,可能形成于离陆地很近的浅水开阔台地环境。

MF12 核形石颗粒灰岩

核形石颗粒灰岩(图版 II-9)主要分布于研究区的船山组,与生物碎屑灰岩组成良好的粒序层,按照核形石的特征和含量可细分为以下2种亚相:

MF12-1 生物碎屑—核形石颗粒灰岩(图版 II-10)

相当于 Wilson 的 SMF13。颗粒成分为核形石(约25%)和生物碎屑(约20%)。核形石呈椭圆状,直径3~5 mm,核心为生物碎屑,纹层为泥晶纹层,纹层厚度小于核心厚度。生物碎屑保存较好,直径与核形石近似,主要为籼、非籼有孔虫和棘皮动物等。亮晶方解石胶结,含量55%。该相显示清晰的颗粒支撑结构。粒径近似的核形石与较完整生物碎屑和亮晶方解石胶结表明其形成于水动力条件中等偏上的开阔台地或其边缘环境。

MF12-2 核形石颗粒灰岩(图版 II-11)

相当于 Wilson 的 SMF13。颗粒成分为核形石(约75%)和生物碎屑(约10%)。核形石大部分呈椭圆状,直径6~10 mm不等,核心为内碎屑或生物碎屑,纹层复杂(泥晶纹层、亮晶纹层、含生物纹层和藻纹层的随机组合),纹层厚度大于核心厚度。严重破碎的有孔虫分布于核形石的空隙内,亮晶方解石胶结,含量15%。该相显示清晰的颗粒支撑结构。近厘米级的核形石、严重破碎的有孔虫碎屑基质和亮晶方解石胶结表明其形成于水动力条件很强的台地边缘浅滩环境。

MF13 集合粒颗粒灰岩(图版 II-12)

相当于 Wilson 的 SMF17。颗粒成分为集合粒(约65%)和少量生物碎屑。集合粒形状多样,直径0.5~1.5 mm为主,为早期分散的生物碎屑和其他颗粒在藻类的作用下形成的复合颗粒。强烈的泥晶化作用使得颗粒很好的复合在一起,部分颗粒与颗粒之间的间隙清晰可见。集合粒内部生物碎屑不完整,少量可辨别生物类型。亮晶方解石胶结,含量35%。大量的集合粒和亮晶方解石胶结表明其形成于水动力较弱的浅海环境。

MF14 砾屑灰岩(图版 II-13)

类似于 Wilson 的 SMF14。颗粒成分为碳酸盐岩砾石。砾石形态以长条形为主,大小不一,分选性差,磨圆度一般。单个砾石粒径通常为3~8 cm(最大的砾石长径达62 cm,短径达20 cm),成分为下伏地层的生物碎屑灰岩、灰泥石灰岩和包壳生物碎屑灰岩

等。超过分米级的砾石顺层排列,厘米级砾石呈八字形或倒小子形,局部呈放射状和叠瓦状,砾径自底向上逐渐减小(特大砾石除外),泥质成分增多。以上特征表明强烈的风暴流作用将底部岩石掀起、击碎并原地堆积,组成很好的风暴砾屑滞留层,为强风暴高峰期作用的结果^[16]。紫红色、大量的砾屑和基质中含丰富的生物碎屑表明风暴流作用于正常浪基面以上的开阔台地环境。

MF15 白云岩

白云岩在研究区分布较少,主要位于黄龙组上段,白云岩常与灰岩共存,组成类似豹皮状组构。白云岩中残留部分原岩的结构和生物碎屑特征,可以判断该白云岩为次生白云岩。按照白云石颗粒的大小可细分为以下2种亚相(Folk分类):

MF15-1 泥粉晶白云岩(图版 II-14)

白云石颗粒直径小于0.05 mm,半自形结构,紧密镶嵌接触,偶见陆源石英颗粒,未见生物碎屑。

MF15-2 细晶白云岩(图版 II-15)

白云石颗粒直径0.1~0.2 mm,半自形结构,紧密镶嵌接触,见少量的陆源石英颗粒和生物碎屑。

次生白云岩对判断沉积环境仅有一定的参考意义,其原岩才能真正的指示当时的沉积环境。结合研究区该层位的岩石学、古生物和沉积构造特征判断其原岩可能为灰泥石灰岩、含生物灰泥石灰岩和生物碎屑粒泥灰岩,指示了该相可能形成于潮坪或局限台地的近海岸环境。

3 微相组合及其沉积环境解释

微相类型中颗粒的类型、基质成分、结构、生物组合及保存状态是沉积环境的物质记录。通过对这些信息的研究,能够判断碳酸盐岩的沉积环境。根据 Flügel^[8]修正后的标准微相类型(SMF)和相带(FZ)的划分标准,可将研究区15种基本微相类型归入不同相带(图3),它们代表不同的沉积环境,其分布受水深和海底地形的控制。

由图3所示的相带和微相类型的分布表明:同一微相类型可以归属于不同的相带,不能准确的代表研究区的沉积环境变化;同一相带可以有多个微相类型,微相组合能很好的指示研究区的沉积环境变化。

因此,本研究利用亚相和微相组合分析的方法将研究区的微相或亚相归入以下4个相带,即蒸发台地相/FZ9、局限台地相/FZ8、开阔台地相/FZ7和台地边缘浅滩相/FZ6。

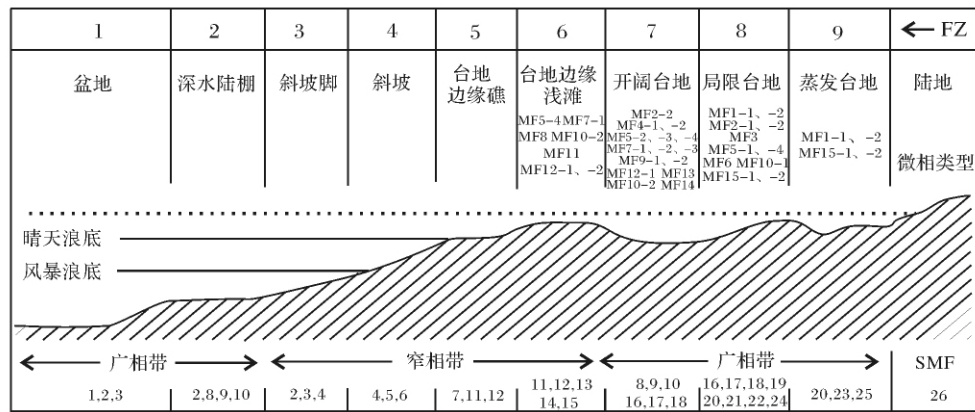


图3 研究区各微相类型在理想的相带序列中的分布(据 Flügel 2004 改绘)

Fig. 3 The distribution of microfacies types among the ideal sedimentary facies belts of the studied area (modified from Flügel 2004)

SMF: 标准微相类型(据 Flügel 2004); FZ: 标准相带(据 Flügel 2004); MF: 研究区微相类型

3.1 蒸发台地相

蒸发台地相主要分布于广元地区黄龙组上段顶部,以灰泥石灰岩/MF1-1、含生物灰泥石灰岩/MF1-2、粉晶白云岩/MF15-1 和细晶白云岩/MF15-2 等微相类型为代表,含极少量宽盐度生物(如介形虫和腹足类等),灰泥石灰岩、灰质白云岩和白云岩呈豹皮状,表明其可能为潮上萨布哈沉积。微相组合为 MF1—MF15 组合。

3.2 局限台地相

局限台地相主要分布于广元—江油一带的黄龙组上段,岩石颜色较深,生物含量低,种数单调,保存较好,以绿藻和小有孔虫为主,局部可形成藻丘。颗粒类型为藻类、有孔虫、腹足类、介形虫、微生物似球粒、灰泥球粒和放射状鲕粒等。以微相类型(包括亚相)为灰泥石灰岩/MF1-1、含生物灰泥石灰岩/MF1-2、藻粒泥灰岩/MF2-1、生物碎屑泥灰岩/MF2-2、鸟眼—窗格似球粒泥粒灰岩/MF3、藻泥粒灰岩/MF5-1、生物碎屑泥粒灰岩/MF5-4、灰泥球粒粒泥灰岩/MF6、放射状鲕粒颗粒灰岩/MF10-1、泥粉晶白云岩/MF15-1 和细晶白云岩/MF15-2 为代表。纵向上一般仅发育其中的 2~3 个组合特征,如单一 MF10 组合、MF1—MF6—MF15 组合、MF1—MF2—MF5 组合、MF1—MF2 组合和 MF2—MF6 组合等。同一层位不同标本或同一标本也表现出不同的组合,如 MF2—MF5 组合和 MF2—MF6 组合等。

3.3 开阔台地相

开阔台地相是研究区分布最广泛的相带,包括黄龙组下段、中段和船山组下段,岩石的颜色以浅灰

色—灰白色为主(风暴层为紫红色),生物碎屑破碎不一,颗粒粒径大小不一。颗粒类型为生物碎屑(如:瓣、非瓣有孔虫、藻类、腕足类和棘皮动物等)、核形石、巴哈马似球粒、泥晶化鲕粒和集合粒等。微相类型以生物碎屑粒泥灰岩/MF2-2、介壳粒泥灰岩/MF4-1、介壳泥粒灰岩/MF4-2、瓣泥粒灰岩/MF5-2、含核形石生物碎屑泥粒灰岩/MF5-3、生物碎屑泥粒灰岩/MF5-4、生物碎屑颗粒灰岩/MF7-1、瓣颗粒灰岩/MF7-2、破碎有孔虫颗粒灰岩/MF7-3、巴哈马似球粒颗粒灰岩/MF9-1、生物碎屑—巴哈马似球粒颗粒灰岩/MF9-2、泥晶化鲕粒颗粒灰岩/MF10-2、生物碎屑—核形石颗粒灰岩/MF12-1、集合粒颗粒灰岩/MF13 和砾屑灰岩/MF14 为代表。纵向上一般发育 2~4 个微相组合序列,如单一 MF13、MF5—MF7 组合、MF5—MF9—MF7 组合、MF9—MF7—MF5 组合、MF2—MF5—MF12 组合和 MF4—MF14—MF10—MF9 组合等。同一层位不同标本或同一标本也表现出不同的组合,如 MF2—MF5 组合和 MF5—MF7 组合等。

3.4 台地边缘浅滩相

台地边缘浅滩相主要分布于船山组下段,岩石的颜色以浅灰色—灰白色为主,生物碎屑破碎严重,主要为瓣、非瓣有孔虫、腕足类和棘皮动物等化石,其它颗粒类型为核形石、包壳生物碎屑、岩屑、鲕粒和少量集合粒等。微相类型以生物碎屑泥粒灰岩/MF5-4、生物碎屑颗粒灰岩/MF7、包壳生物碎屑颗粒灰岩/MF8、泥晶化鲕粒颗粒灰岩/MF10-2、含鲕粒岩屑颗粒灰岩/MF11、生物碎屑—核形石颗粒灰岩/MF12-1 和

核形石颗粒灰岩/MF12-2 等为代表。纵向上微相组合为单一 MF12、MF7—MF10 组合和 MF5—MF7—MF8 组合。同一层位不同标本也表现出不同的组合,如 MF12-1—MF12-2 组合等。

3.5 沉积环境演化

通过上述沉积相带(图 2、4)的分析看出:

江油—广元一带上石炭统以含生物灰岩、生物碎屑灰岩和核形石灰岩为主,含筳、非筳有孔虫、藻类、腕足类和棘皮动物等化石,为一套正常浪基面附近的浅海沉积。

黄龙组下段: 以北川—江油地区为沉积中心,发育碳酸盐岩沉积,西南方向延伸至北川擂鼓—通口一带渐变白云质灰岩和白云岩沉积,东北方向广元剑阁上寺地区未见沉积。黄龙组下段经历了局限台地—开阔台地—局限台地—开阔台地—局限台地—开阔台地环境的变化,在整个沉积过程中伴随了 4 期风暴流的作用。

黄龙组中段: 在整个川西北地区均有沉积分布,发育含丰富正常浅海生物的碳酸盐沉积,整体岩性变

化不大,但厚度存在较大差异,经历了开阔台地—局限台地—开阔台地环境,且以开阔台地为主的变化。

黄龙组上段: 在川西北和川东地区均有沉积,其中川西北地区以含生物灰岩和灰泥石灰岩为主,川东地区为生物碎屑灰岩和白云岩为主。黄龙组上段经历了局限台地—开阔台地—台地边缘浅滩环境的变化,后期由于晚华力西运动(云南运动)的影响,导致地壳抬升和海平面下降,致使川西北部大部分地区 and 川东地区缺失船山组沉积。

船山组下段: 川西北大部分地区 and 川东地区均缺少船山组沉积,仅分布于北川—江油部分地区,其中江油沉水地区表现为底部生物碎屑灰岩,上部至少 13 层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层,向西南方向延伸至北川通口地区仅见 1 层核形石灰岩。船山组下段经历了开阔台地—台地边缘浅滩环境。多套生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层的出现可能与晚石炭世全球冰期活动有密切的关系^[18]。

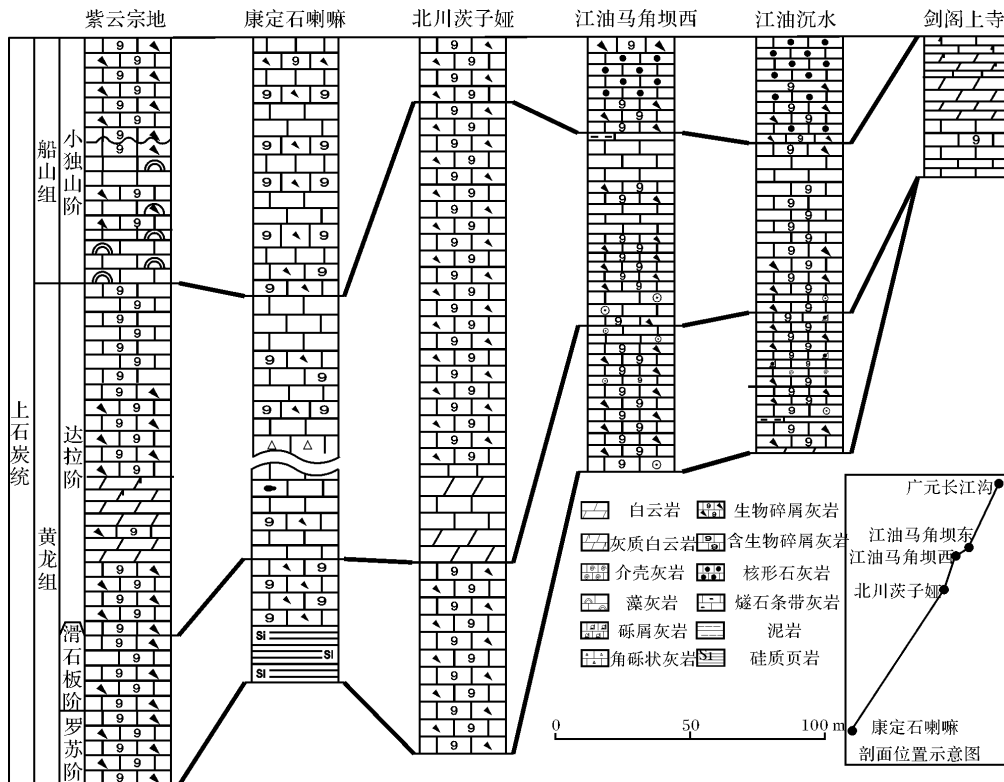


图 4 龙门山地区与贵州(宗地)上石炭统对比图^{[17]①②}

Fig. 4 The comparison chart of the Upper Carboniferous carbonates between Longmenshan region and Guizhou(Zongdi area)

① 四川省地质矿产局. 地质图说明书马角镇幅. 1995

② 李国辉, 宋文海, 李翔, 等. 四川油气区石炭—二叠系划分对比、古环境研究及含油气远景评价(内部资料). 2003

通过对沉积环境和海平面升降的分析表明:研究区上石炭统为正常浅海相沉积。除江油—北川一带地层发育较完整、层序较清晰外,其它地区出露较少。研究区存在多期的海侵—海退旋回,晚石炭世早期碳酸盐沉积主要集中于江油马角坝地区,整体为开阔台地环境;晚石炭世中期在北川—广元一线均存在碳酸盐岩沉积,随后海侵加大,至黄龙组沉积晚期海侵达到最大值,使得整个川西北和川东地区接受碳酸盐沉积,发育开阔台地—局限台地环境;晚石炭世晚期沉积区仅限于北川—江油一带,属开阔台地—台地边缘浅滩环境。

4 讨论

4.1 黄龙组下部红层及其沉积学意义

黄龙组下部发育多套红层,早期认为属早石炭世末期的产物^[19],新近的研究^[20]表明应属于上石炭统。笔者以野外和实验室研究为基础,对江油马角坝地区黄龙组下段进行了深入研究,发现各剖面黄龙组下部均存在4套红层,为风暴岩的表现形式。风暴沉积的岩石学特征为介壳灰岩、砾屑灰岩、瘤块状灰岩、岩屑灰岩和正常沉积灰岩或泥岩;沉积构造为侵蚀底面、滞留层、粒序层理、块状层理和纹层理,缺失丘状交错层理。沉积层序特征表明研究区风暴岩均发育于浅海碳酸盐岩台地中上部,与一般的斜坡风暴岩有明显的差别,具有近源极浅水风暴岩的特点^[21~23],即位于正常浪基面附近靠近浪基面的浅水地带甚至更浅,受风暴潮和风暴浪的影响较大,一般距生物滩丘或生物滩比较近,生物碎屑供应充分,风暴浪和风暴流作用强度较大,常形成较厚的以生物碎屑为主的粗粒风暴岩。

研究区仅在江油马角坝地区见4套风暴层,北川擂鼓—通口一带和广元地区剑阁南坝—上寺一带则未见风暴沉积,表明在晚石炭世早期风暴流的影响范围有限,仅局限于江油马角坝地区,横向上由西到东厚度逐渐最大,纵向上从下到上风暴流的影响逐渐减小。

4.2 船山组核形石灰岩及其古气候意义

华南上石炭统船山组中普遍发育俗称“船山球”的核形石,分布范围广、数量多、沉积厚度0.5~40 m不等,已成为研究石炭—二叠系地层划分和对比的标准因子之一^[24,25]。研究区的江油马角坝和北川通口地区发育层数不等的生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层,厚0.5~25 m不等,其中江油马角坝剖面发育

至少13层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层,下部11个粒序层呈现正粒序,每个粒序层由底到顶核形石从无到有,含量逐渐增加;上部2个粒序层呈现反粒序,每个粒序层由底到顶核形石从有到无,含量逐渐减少,可能指示了海平面的周期性变化。

研究区船山组核形石灰岩样品中稀土总量(Σ REE)含量较低;轻重稀土元素分馏中等,轻稀土相对富集,重稀土相对亏损; δ Ce值变化区间为0.43~0.74,均值0.59,反映了Ce亏损严重; δ Eu介于0.89~1.06,均值0.99,异常不明显,部分呈现出正异常,部分呈现出负异常;Y/Ho值介于38.6~51.7,均值44.29,接近现代海水的Y/Ho比值范围44~74的下限,表明研究区晚石炭世晚期可能受到第二次全球冰期冰融淡水的影响。

北川通口剖面仅发育一层厚的核形石灰岩,江油马角坝地区双龙剖面发育多层生物碎屑灰岩—核形石灰岩,沉水剖面发育至少13层生物碎屑灰岩—核形石灰岩粒序层。这一分布特点表明:核形石的发育与水深和海底地形有密切的关系,当水体很深时,不利于核形石的形成;在靠近台地边缘时,更有利于核形石的形成。

5 结论

(1) 通过对江油—广元地区上石炭统碳酸盐岩颗粒和基质类型的识别,将研究区碳酸盐岩划分成15种微相类型(包括21个亚相)。对这些微相或亚相类型通过横向和纵向微相组合分析,将其划分成4个相带,代表不同的沉积环境及其变化。沉积相带的组合特征表明研究区晚石炭世存在着多期的海侵—海退旋回,其中在黄龙组上段中部海侵达到最大值,使得整个川西北大部分地区 and 川东地区接受碳酸盐沉积。

(2) 通过对江油—广元地区上石炭统的特殊岩层的研究表明:黄龙组下部红层实为4套风暴岩,均形成于浅海陆棚上部的近积风暴岩;船山组核形石灰岩的韵律层及其地球化学特征表明核形石的形成可能与晚石炭世晚期全球冰期事件有密切的关系。

参考文献(References)

- Grabau A W. Principles of Stratigraphy [M]. Seiler A G, ed. New York, 1913: 269-300
- Dumham R J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture [J]. AAPG Memoir, 1962: 108-121
- Fork R L. Spectral subdivision of limestone types [C]// Ham W E ed.

- Classification of carbonate rocks [J]. AAPG Memoir, 1962(1): 62-84
- 4 Embry A F, Klovan J E. Absolute water depths limits of Late Devonian paleoecological zones [J]. Geology Research, 1972, 61(2): 672-686
 - 5 Wilson J L. 地质历史中的碳酸盐相 [M]. 冯增昭等译. 北京: 地质出版社, 1981 [Wilson J L. Carbonate Phase in the Geological History [M]. Translated by Feng Zengzhao, et al. Beijing: Geological Publishing House, 1981]
 - 6 Flügel E. Microfacies Analysis of Limestone [M]. New York: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1982: 62-454
 - 7 冯增昭. 碳酸盐岩分类 [J]. 石油学报, 1982, (1): 11-18 [Feng Zengzhao. Classification of Carbonate Rocks [J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, (1): 11-18]
 - 8 Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks [M]. New York: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2004: 1-924
 - 9 Flügel E. 碳酸盐岩微相—分析、解释及应用 [M]. 马永生译. 北京: 地质出版社, 2006 [Flügel E. Carbonate Microfacies: Analysis, Interpretation and Application [M]. Translated by Ma Yongsheng. Beijing: Geological Publishing House, 2006]
 - 10 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, (1): 19-33 [Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Huang Zhixun, et al. Carboniferous sequence stratigraphy and sea level changes in the Majiaoba area, Sichuan [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, (1): 19-33]
 - 11 张遴信. 四川江油马角坝中晚石炭世的笔石 [J]. 古生物学报, 1964, (2): 217-232 [Zhang Linxin. Middle-late Carboniferous fusulinid from Majiaoba, Jianguyou, Sichuan Province [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1964, (2): 217-232]
 - 12 杨剑. 四川江油匡南地区石炭系的重新划分 [J]. 西安工程学院学报, 1999, 21(1): 36-38 [Yang Jian. Redivision of Carboniferous in Kuangnan area, Jianguyou, Sichuan [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1999, 21(1): 36-38]
 - 13 石和, 黄思静, 赵鹏肖. 四川江油石炭纪锶同位素曲线—年代地层对比和海平面变化 [J]. 地质通报, 2003, 22(2): 113-117 [Shi He, Huang Sijing, Zhao Pengxiao. Sr isotope curve from the Carboniferous section in Jianguyou, Sichuan: Chronostratigraphic correlation and sea level changes [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(2): 113-117]
 - 14 李国华. 川西地区北部上二叠统沉积相及其与油气关系的研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2003: 1-49 [Li Guohua. Sedimentary facies and oil-gas distribution regularities of the upper Permian, western Sichuan province [D]. Chengdou: Southwest Petroleum University, 2003: 1-49]
 - 15 Adams A E, Mackenzie W S, Guilford C. Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscopes [M]. England: Longman House, Burnt Mill, Harlow Essex CM20 2JE, 1984: 1-96
 - 16 安桐林. 蓟县地区雾迷山组碳酸盐原地型风暴沉积特征及成因探讨 [J]. 沉积学报, 1993, 11(4): 30-36 [An Tonglin. The features and genetic discussion of carbonate antochthonous tempestite in Wumishan Formation in the Jixian [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(4): 30-36]
 - 17 史宇坤, 刘家润, 杨湘宁, 等. 贵州省紫云县宗地剖面早石炭世大塘期—早二叠世栖霞期的笔石动物群 [J]. 微体古生物学报, 2009, 26(1): 1-30 [Shi Yukun, Liu Jiarun, Yang Xiangning, et al. Fusulinid faunas from the Datangian to Chihhsian strata of the Zongdi section in Ziyun county, Guizhou Province [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2009, 26(1): 1-30]
 - 18 刘本培, 李儒峰, 尤德宏. 黔南独山石炭系层序地层及麦粒笔带冰川型全球海平面变化 [J]. 地球科学, 1994, 19(5): 553-564 [Liu Benpei, Li Rufeng, You Dehong. Carboniferous sequence stratigraphy and glacio-eustasy of Triticites zone in southern Guizhou, China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(5): 553-564]
 - 19 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]
 - 20 金玉轩, 范影年, 王向东, 等. 中国地层典·石炭系 [M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-138 [Jin Yuxuan, Fan Yingnian, Wang Xiangdong, et al. China Formation • Carboniferous [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-138]
 - 21 孟祥化, 乔秀夫, 葛铭. 华北古浅海碳酸盐风暴沉积和丁家滩相序模式 [J]. 沉积学报, 1986, 4(2): 1-18 [Meng Xianghua, Qiao Xiufu, Ge Ming. Study on ancient shallow sea carbonate storm deposits (tempestite) in north China and Dingjiantan model of facies sequences [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(2): 1-23]
 - 22 邱金荣, 岳文浙, 业治铮. 南京东郊石炭纪威宁期的风暴沉积 [J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1989, 10(1): 75-84 [Qiu Jinrong, Yue Wenzhe, Ye Zhizhen. Storm deposition in weiningian, later carboniferous, eastern suburbs of Nanjing [J]. Nanjing Institute Geology Minoral, Chinese Academy of Geological Sciences, 1989, 10(1): 75-84]
 - 23 韩征, 余素玉. 云南楚雄盆地西部浅水风暴岩与珊瑚条砾灰岩的成因 [J]. 地质科学, 1989, 14(6): 593-599 [Han Zheng, Yu Suyu. The genesis of shallow tempestites and coral-strips limestone, west Chuxiong basin, Yunan province [J]. Chinese Journal of Geology, 1989, 14(6): 593-599]
 - 24 Dahanyake K. Classification of oncooids from the upper Jurassic carbonates of the French Jura [J]. Sedimentary Geology, 1977, (18): 337-353
 - 25 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]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1990, 11(2): 57-72 [Jiang Yuehua, Yue Wenzhe, Ye Zhizheng. Oncooids in the carbonate rocks of Chuanshan Formation from Yangtze Terrane Volcanology & Mineral Resources [J]. Nanjing Institute Geology Minoral, Chinese Academy of Geological Sciences, 1990, 11(2): 57-72]

Microfacies and Environment Analysis of the Carboniferous Carbonates in Jiangyou-Guangyuan Area , Sichuan Province

XU Jin-long^{1 2} JIA Zhi-hai¹ WANG Wei¹ LUO Lei¹ LI Jun-qing¹

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

2. Geological Survey of Anhui Province , Hefei 230001)

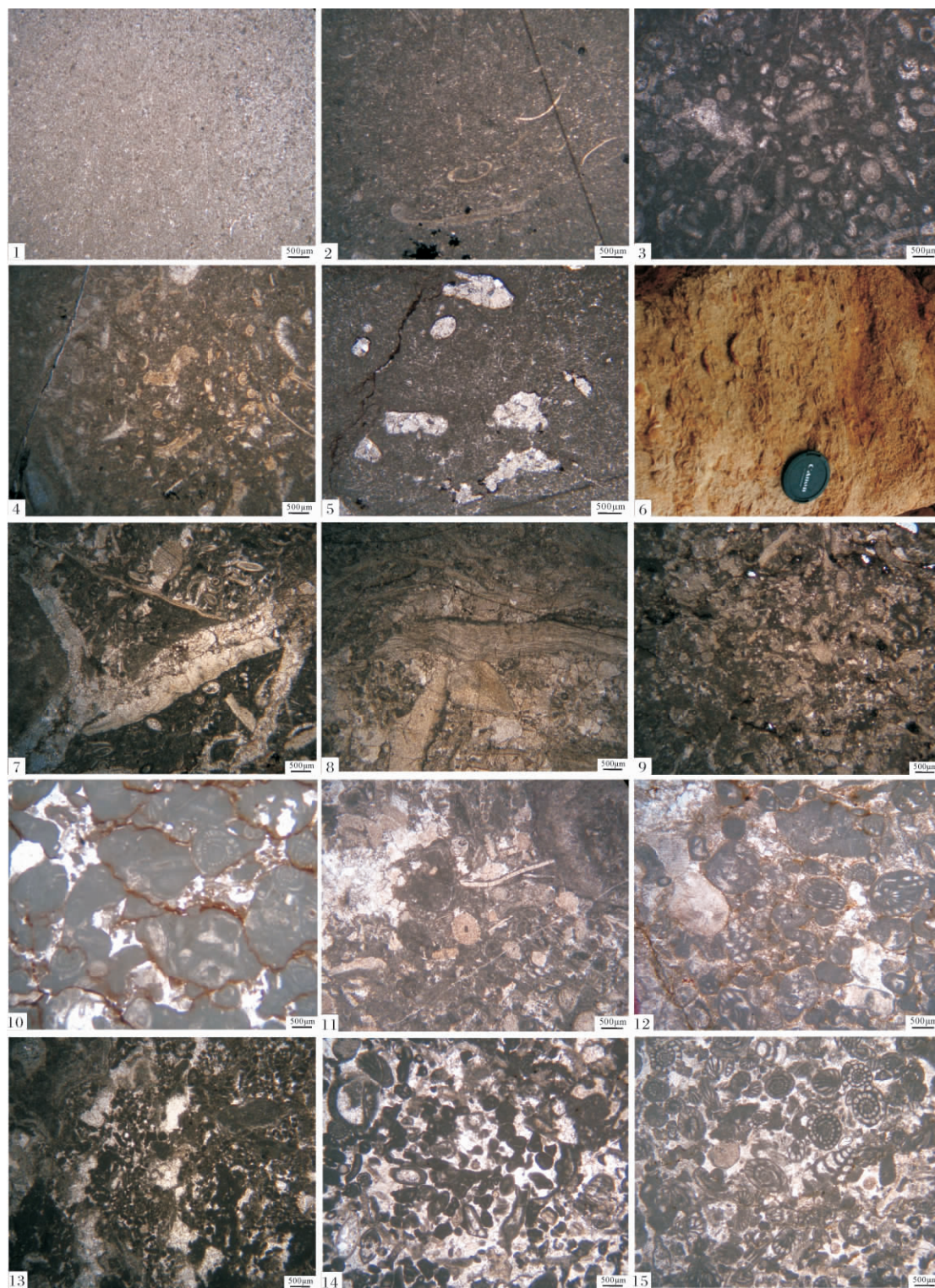
Abstract: The Jiangyou-Guangyuan area , which is located in the north margin of the Longmen Mountain Nappe Structural Belts , is one of the classic areas for the upper Carboniferous researches in Sichuan Basin and even in the upper Yangtze Plate. The upper Carboniferous was deposited in semi-enclosed gulfs of the western Yangtze Block , which characterized by slight thickness , light color , many fossils and several fuchsia mudstone and containing gravels bioclastic limestone as a set of semi-restricted platform and open platform carbonate rocks in this area. The strata are revised according to sedimentary types , sedimentary structures , lithological characters , and paleontological combinations. The upper Zongchanggou Formation , which was considered as one part of the lower Carboniferous , is amended to the upper Carboniferous Huanglong Formation in this paper. The upper Carboniferous is divided into four parts , as lower Huanglong Formation , middle Huanglong Formation , upper Huanglong Formation and lower Chuanshan Formation.

Fifteen microfacies can be divided according to field observation , laboratory micro-analysis and classification of carbonate rocks by Dunham , as Unfossiliferous mudstones (MF1-1) , Clastic mudstones (MF1-2) , Calcareous green algae wackestones (MF2-1) , Bioclastic wackestones (MF2-2) , Birdseyes-Fenestral pelletoid packstones (MF3) , Bivalve wackestones (MF4-1) , Bivalve packstones (MF4-2) , Calcareous green algae packstones (MF5-1) , Fusulinid packstones (MF5-2) , Bioclastic wackestones with oncoids (MF5-3) , Bioclastic wackestones (MF5-4) , Fine - grained peloid grainstones (MF6) , Bioclastic grainstones (MF7-1) , Fusulinid grainstones (MF7-2) , Worn foraminiferal grainstones (MF7-3) , Coated bioclastic grainstones (MF8) , Bahamite peloids grainstones (MF9-1) , Bioclastic-Bahamite peloids grainstones (MF9-2) , Ooid grainstones with radial ooids (MF10-1) , Ooid grainstones with micritized concentric ooids (MF10-2) , Lithoclasts grainstones with micrite ooids (MF11) , Bioclastic-Oncoid grainstones (MF12-1) , Oncoid grainstones (MF12-2) , Aggregate-grain grainstones (MF13) , Conglomerates grainstones (MF14) , Crystal powder secondary dolomites (MF15-1) and Fine secondary dolomites (MF15-2) . Based on these microfacies in the features of the vertical and horizontal combination , four sedimentary facies belts can be summarized according to the microfacies combination as winnowed platform edge sands (FZ6) , open platforms (FZ7) , restricted platforms (FZ8) and platform evaporates (FZ9) . The combination characteristics of the depositional facies belts indicate that several transgression to regression occurred during the late Carboniferous and the maximum transgression occurred the late Huanglong Formation with Carbonate deposit in the northwest Sichuan and eastern Sichuan.

The studied special layer in Jiangyou-Guangyuan area have shown that four storm layers and storm sedimentary combinations are formed in the upper shelf environment as proximal storms rocks in Huanglong Formation , such as storm shell limestones , storm calcirudites , storm nodular limestones , storm calcarenites , scouring structures , graded beddings , knotty-like structures , scale beddings , horizontal beddings , current beddings , bioturbate structures and so on.

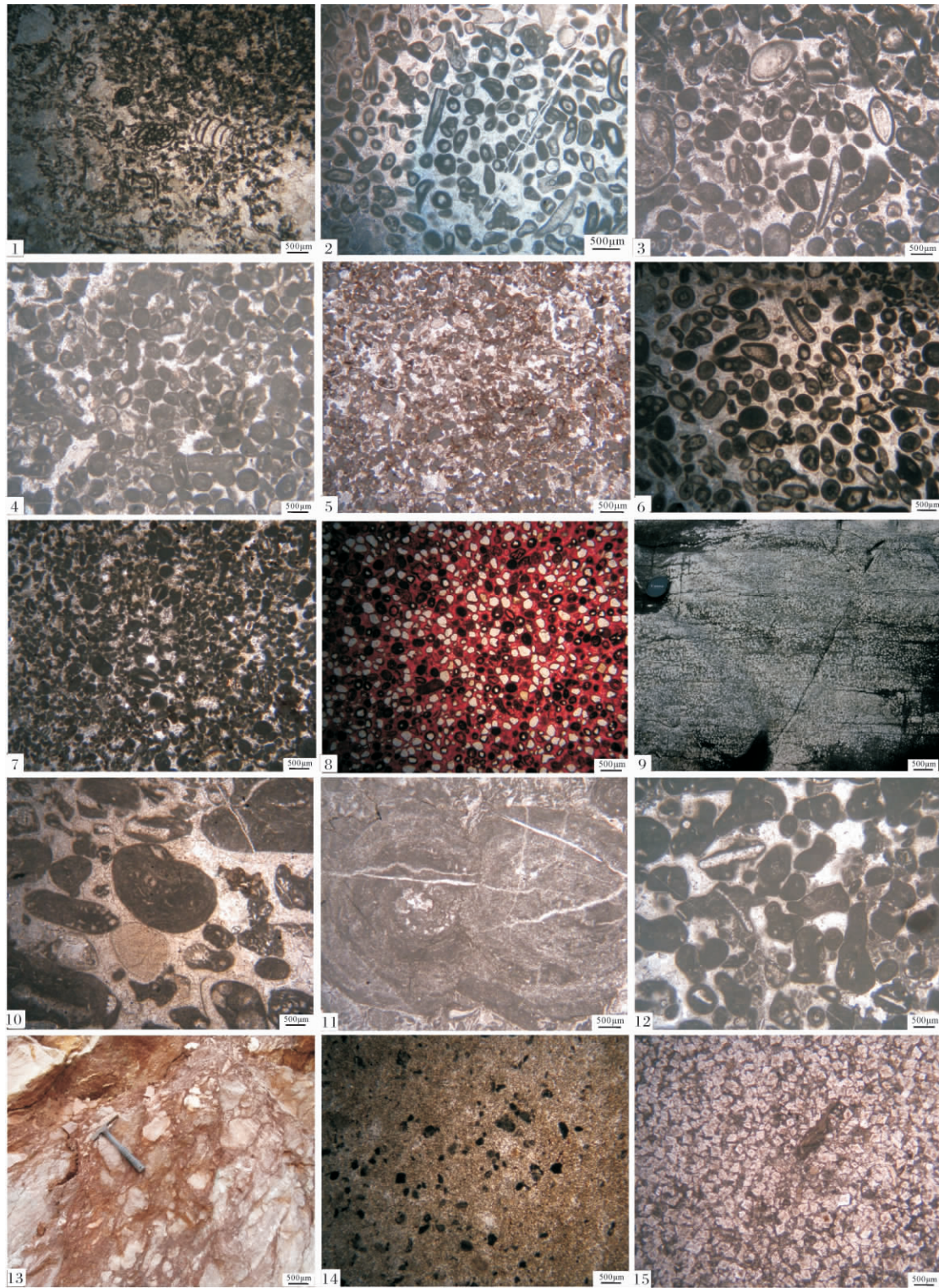
ICP-MS is used to determine REE contents of oncolite carbonate rocks of the Chuanshan Formation in these areas. The analyses of the REEs are related to their depositional environments , especially Σ REE , LREE , HREE , δ Ce , δ Eu and Y/Ho are displayed regularly. The LREE patterns are a little rightward heeling , and the HREE patterns are flat. δ Ce vary from 0.43 to 0.74 , and the average of all samples is 0.59. They all have obviously negative δ Ce anomalies , as indicated strong Oxidation environments during the Chuanshan Stage. Some samples have negative δ Eu anomalies and some have positive δ Eu anomalies. As indicate that REE characteristics are affected by ancient climate cycles (glacial-interglacial cycle) and the periodical sea level changes in the Late Carboniferous.

Key words: microfacies combination; depositional environment; carbonates; the Upper Carboniferous; Jiangyou-Guangyuan area; Sichuan Province



图版 I 江油—广元地区上石炭统碳酸盐岩微相特征

1. 灰泥石灰岩/MF1-1 泥晶方解石, 单偏光, 薄片号 Cs07; 2. 含生物灰泥石灰岩/MF1-2 腹足类和介形虫, 单偏光, 薄片号 Cj02-1; 3. 藻粒泥灰岩/MF2-1 枝状藻, 单偏光, 薄片号 Mx16-5; 4. 生物碎屑粒泥灰岩/MF2-2 藻类和孔虫, 单偏光, 薄片号 Cj02-2; 5. 鸟眼-窗格泥灰岩/MF3 微生物似球粒和鸟眼-窗格构造, 单偏光, 薄片号 Mx05-3; 6. 介壳滞留层。下部介壳保存完整, 顺层排列, 上部破碎严重, 杂乱排列, 野外照片; 7. 介壳粒泥灰岩/MF4-1 腕足类和少量孔虫, 单偏光, 薄片号 M30-1; 8. 介壳泥灰岩/MF4-2 腕足类, 单偏光, 薄片号 M30-1; 9. 藻粒泥灰岩/MF5-1 藻类, 单偏光, 薄片号 Mx18-1; 10. 瓣泥灰岩/MF5-2 瓣块和缝合接触, 单偏光, 薄片号 Cs06-1; 11. 含核形石生物碎屑泥灰岩/MF5-3 藻类、孔虫和核形石等, 单偏光, 薄片号 Mx19-15; 12. 生物碎屑泥灰岩/MF5-4 完整的藻类和孔虫, 单偏光, 薄片号 Cs15-2; 13. 灰泥球粒泥灰岩/MF6 灰泥球粒、生物碎屑和粘结结构, 单偏光, 薄片号 M27-1; 14. 生物碎屑颗粒灰岩/MF7-1 有孔虫、藻类、棘皮动物和介形虫等, 单偏光, 薄片号 Cs09-3; 15. 瓣颗粒灰岩/MF7-2 瓣类和孔虫, 单偏光, 薄片号 Cs11-2



图版 II 江油-广元地区上石炭统碳酸盐岩微相特征

1. 破碎有孔虫颗粒灰岩/MF7-3 破碎的有孔虫,单偏光,薄片号 Mx18-2; 2. 包壳生物碎屑颗粒灰岩/MF8 丝状藻为核心的包壳生物碎屑和部分未包壳的藻类、棘皮动物,单偏光,薄片号 Cs22-2; 3. 包壳生物碎屑颗粒灰岩/MF8 部分包壳的生物碎屑和完全包壳生物碎屑,单偏光,薄片号 Cs01-2; 4. 巴哈马似球粒颗粒灰岩/MF9-1 巴哈马似球粒,单偏光,薄片号 Cs02-3; 5. 生物碎屑-巴哈马似球粒颗粒灰岩/MF9-2 等大小的巴哈马似球粒和生物碎屑,单偏光,薄片号 Cs05-3; 6. 放射状鲕粒颗粒灰岩/MF10-1 放射状鲕粒和丝状藻,单偏光,薄片号 Mx10-2; 7. 泥晶化鲕粒颗粒灰岩/MF10-2 泥晶化鲕粒,单偏光,薄片号 M29-1; 8. 含鲕粒岩屑颗粒灰岩/MF11 岩屑和薄皮鲕,单偏光,薄片号 M41-2; 9. 核形石灰岩。大球状核形石密集分布和密集的缝合线构造 野外照片; 10. 生物碎屑-核形石颗粒灰岩/MF12-1 完整的有孔虫、棘皮动物、藻类和几乎等大小的核形石,单偏光,薄片号 MX19-9; 11. 核形石颗粒灰岩/MF12-2 压溶的核形石,单偏光,薄片号 M043-1; 12. 集合粒颗粒灰岩/MF13 不规则状集合粒,单偏光,薄片号 Cs13-3; 13. 砾屑灰岩/MF14. 超分米级砾石近似顺层排列 野外照片; 14. 泥粉晶白云岩/MF15-1 泥粉晶白云石和沥青,单偏光,薄片号 Cj06-2; 15. 细晶白云岩/MF15-2 细晶白云石,单偏光,薄片号 Cj03-1