

云南罗平生物群产出层位沉积微相 及其化石富集规律

白建科¹ 尹福光² 张启跃²

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:云南罗平上石坎剖面是产出罗平生物群的代表性剖面。参考 Wilson 的标准微相模式, 从产化石层位识别出 6 种沉积微相: 灰泥灰岩、生屑粒泥灰岩、粪球粒-生屑泥灰岩、纹层状泥晶灰岩、生屑泥粒灰岩和砾屑灰岩。通过在化石采掘现场对化石富集层位的统计, 将产化石层位细分为生物群上层段 UFH (Upper Fossil Horizon) 和生物群下层段 LFH (Lower Fossil Horizon), 并进一步探讨了每个层段中沉积微相与化石富集规律的关系, 发现化石富集程度高的层段主要发育灰泥灰岩、生屑粒泥灰岩、粪球粒-生屑泥灰岩、纹层状泥晶灰岩等 4 种沉积微相。这种沉积微相组合主要发育在深水、低能的台内盆地环境中, 环境水体的滞留、缺氧给生物埋藏提供了良好的条件。

关键词:罗平生物群; 沉积微相; 化石富集规律; 台内盆地

中图分类号: P58 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)02-0393-10

罗平生物群是继关岭生物群、盘县动物群之后, 在中国西南地区新发现的又一生物门类多样的海洋生物群落^[1], 产于滇黔桂三省交界处罗平地区中三叠统关岭组, 牙形石鉴定结果表明罗平生物群产出层位属于牙形石 *Nicoraella kockeli* 带, 其时代为中三叠世安尼期的 *Pelsonian* 亚期^[2-3], 地层岩性组合特征和牙形石证据都表明其与邻近的盘县动物群时代相当^[4-8]。碳酸盐岩微相分析为恢复古代沉积环境、判断沉积相方面提供了非常重要的信息^[9-12]。目前关于生物群沉积环境中微相分析研究也取得了大量的成果^[13-17]。由于上石坎剖面是在罗平生物群采掘工程点测制的, 在逐层采掘的过程中, 把每层所采的化石的种类、数量都对应到剖面层序中, 这样统计出来的生物群富集特征在上石坎剖面上的演化规律是真实可信的。因此, 为了获得罗平生物群产出层位的微相信息以及化石在剖面层位中的富集规律, 笔者以罗平生物群产出层位上石坎剖面为研究对象, 通过化石采掘过程中的各门类化石的系统统计, 结合室

内微相分析, 探讨罗平生物群产出层位沉积微相与化石富集规律的关系。

1 地质背景

滇东罗平地区中三叠世的古地理位置位于康滇古陆以东, 扬子台地南缘, 南盘江盆地边缘, 为上扬子碳酸盐岩台地的一部分^[18-19]。在印支造山运动作用下, 南盘江前陆盆地从中三叠世开始萎缩, 至晚三叠世与扬子克拉通台地汇聚而闭合^[20-23]。由于南盘江前陆盆地的褶皱抬升和逐渐关闭, 加上康滇古陆的进一步隆升和阻挡, 在靠近古陆一侧的扬子台地边缘则陆续出现呈北东—南西向延伸的边缘凹陷^[24-25]。根据野外地质调查成果以及盘县动物群和罗平生物群沉积与埋藏环境的最新研究进展, 认为在中三叠世安尼期时, 由于生物礁差异性生长作用、海平面变化、构造运动等因素的影响, 在碳酸盐岩台地上发育零星分布的台内盆地, 云南罗平地区就恰好处于这样一个台内盆地中(图 1)。

收稿日期: 2010-09-26; 改回日期: 2011-01-08

基金项目: 中国地质调查局区域地质调查项目(1212010610211)资助。

作者简介: 白建科, 男, 1983 年生, 助理工程师, 从事沉积岩石学研究; E-mail: baijianke2003@163.com。

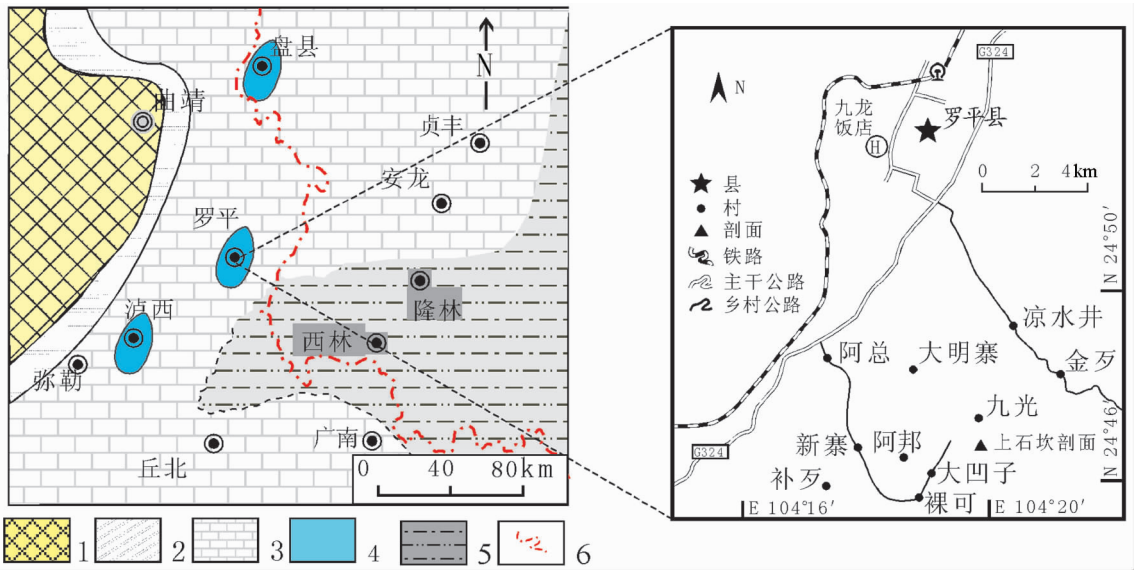


图1 罗平及邻区中三叠世岩相古地理图(据参考文献[3]和[21]修改)及上石坎剖面交通位置图

1—康滇古陆;2—滨岸相;3—开阔台地相;4—台内盆地相;5—南盘江盆地;6—省界

Fig.1 Middle Triassic paleogeographic map of Luoping and its adjacent areas (modified after reference [3] and [21]) and location of Shangshikan section

1—Kangdian old land; 2—Shoreside facies; 3—Open platform facies; 4—Intra-platform basin facies; 5—Nanpanjiang basin; 6. Provincial boundary

云南罗平上石坎剖面是控制罗平生物群产出层位的主干剖面,位于云南省罗平县罗雄镇九光村南约1 km处(地理坐标为:东经 $104^{\circ}19'40.7''$ 、北纬 $24^{\circ}46'47.6''$)(图1)。剖面岩性组合简单,产化石层位段沉积序列的三段性非常明显(图2),下段(12~37层)和上段(42~56层)主要为是一套灰黑色薄—纹层状泥晶灰岩,夹燧石结核或燧石条带为区域识别标志,其中下段间隔性夹有5层灰白—灰黄色2~3 cm厚的粘土质凝灰岩,上段的顶部发育大量的包卷层理。上、下段是产罗平生物群的主要岩性段。中段(38~41层)为一套灰黑色中—厚层状含燧石结核生物扰动灰岩,含有较多的双壳类、腹足类等生物碎屑,层面上见到大量的生物遗迹化石。中段岩性特征区域展布广、稳定,成为罗平生物群分布范围调查的主要区域识别标志层。从产生物群层位岩性特征、沉积序列以及化石保存特征来看,罗平生物群沉积与埋藏环境整体上具有水动力条件弱、低氧、还原的特点,间隙性会出现底层海水富氧的状况,这一短暂时期使得大量的底栖生物得以繁盛,产生大量生物扰动构造。

2 微相特征

通过对上石坎剖面野外露头观察,并结合室内镜下薄片鉴定,根据剖面沉积特点、相序配置关系以及Dunham提出的碳酸盐岩分类方案^[26],参考Wilson所划分的24个标准微相类型^[27]和Flügel^[28]归纳的中生代碳酸盐岩缓坡常见微相类型,在云南罗平生物群产出层位的上石坎剖面中识别出如下6种微相,它们的特征及沉积环境分析如下:

2.1 MF1 灰泥灰岩

MF1 灰泥灰岩微相(图版 I-1)(层号15, 23, 32, 35, 44, 53)相当于Wilson的SMF1,灰泥灰岩沉积组分几乎全部为泥晶方解石,亮晶极少。显微镜下见生物碎屑很少,低于5%,如薄壳双壳类、有孔虫、棘皮类等,有时具粒序层理,粒序由生物碎屑或内碎屑颗粒组成(图版 I-2),生屑包括介形虫、有孔虫和薄壳双壳类碎屑等。生物碎屑的长轴排列方向大致与层理方向一致。往往具有由远源浊流所产生的粒序层理的特点。沉积环境主要为深水低能的盆地环境,有时受到远源浊流的影响。

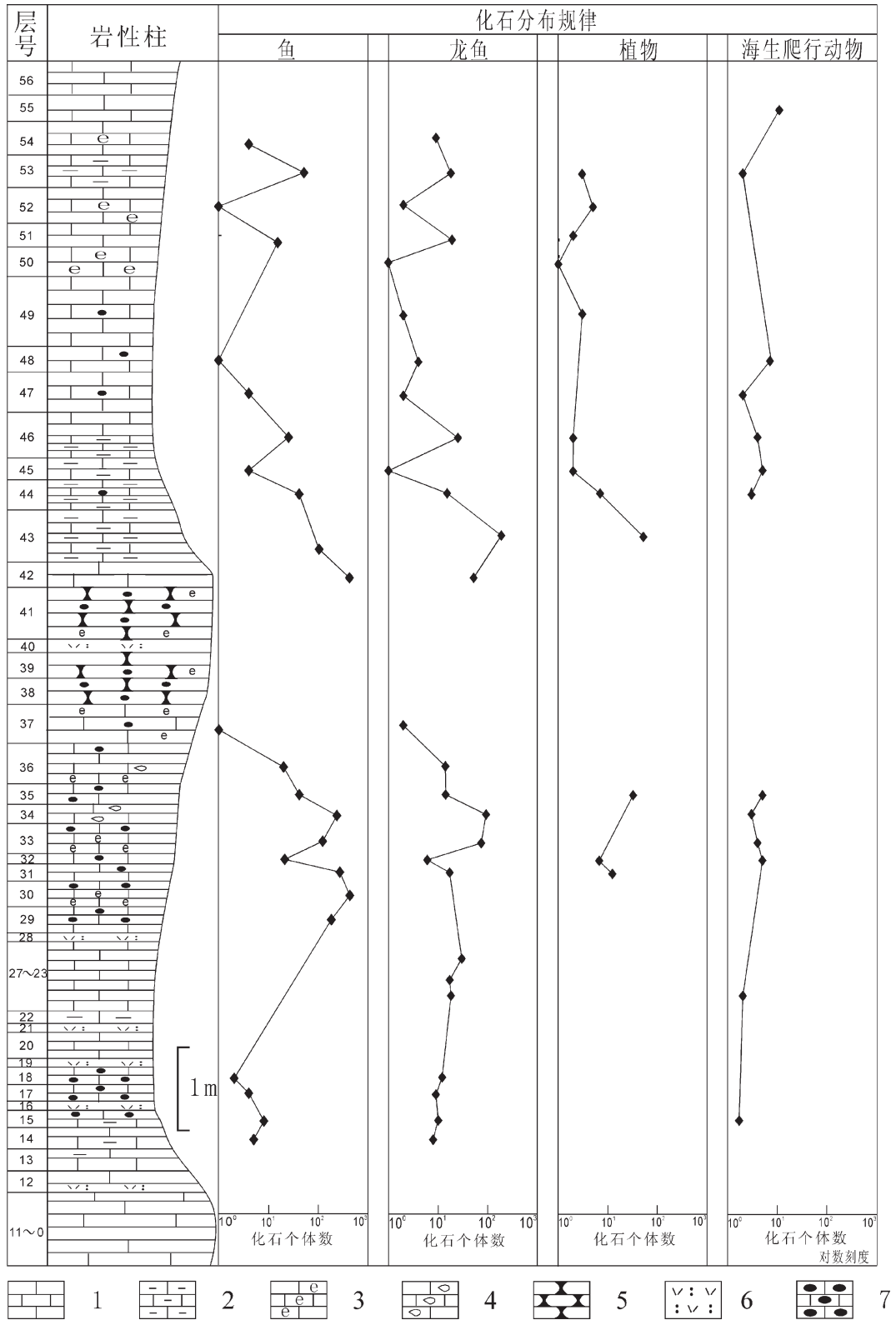


图 2 上石坎剖面中化石富集度变化曲线

1—泥晶灰岩; 2—泥质灰岩; 3—生屑灰岩; 4—砾屑灰岩; 5—生物扰动灰岩; 6—凝灰岩; 7—燧石结核灰岩

Fig.2 Variation curves of the enrichment of fossils in Shangshikan section

1—Micrite; 2—Argillaceous limestone; 3—Bioclastic limestone; 4—Calclirudite; 5—Turbidity limestone; 6—Tuff; 7—Limestone with siliceous nodules

2.2 MF2 生物碎屑粒泥灰岩

MF2 生物碎屑粒泥灰岩微相(图版 I-3)(层号 14, 18, 33, 37, 41, 50, 51), 相当于 Wilson 的 SMF3 和 SMF8。岩石组分以灰泥为主, 生物碎屑含量为 20%~30%, 镜下显示以灰泥支撑为主的结构类型。细砂级大小的生物碎屑包括: 双壳类、腹足类、棘皮类、有孔虫、介形虫等, 内碎屑较少, 磨圆度较差。成岩作用以重结晶作用、溶解和充填作用为主。沉积环境为盆地低能环境。

2.3 MF3 粪球粒—生物碎屑泥灰岩

MF3 粪球粒—生物碎屑泥灰岩微相(图版 I-4)(层号 14, 15, 32, 34), 相当于 Wilson 的 SMF16。粒泥结构, 颗粒组分主要由粪球粒和生物碎屑组成, 生物碎屑有海百合茎、介形虫、有孔虫等。粪球粒的体积分数约为 15%, 生物碎屑的体积分数占到了 20%~25%, 基质为泥晶方解石。生物碎屑经历了强烈的重结晶化, 结构已经变得模糊不清, 沉积环境中的沉积作用以低能、悬浮沉积为主。

2.4 MF4 纹层状泥晶灰岩

MF4 纹层状泥晶灰岩微相(图版 I-5)(层号 17, 30, 43, 46), 成分主要是泥晶方解石, 泥晶方解石细而均匀, 野外露头为毫米级的水平纹层, 镜下观察纹层略有波动, 含少量的介形虫, 因泥晶方解石结晶程度不同, 呈现出“亮层”与“暗层”交替的现象, 二者之间为渐变过渡关系, 沉积于水动力条件强弱交替的环境中, 水动力条件较强时形成“亮层”, 反之, 则形成“暗层”。

2.5 MF5 生物碎屑泥粒灰岩

MF5 生物碎屑泥粒灰岩微相(图版 I-6)(层号 36, 52, 53, 54), 大体上相当于 Wilson 标准微相 SMF-13 和 SMF-9。灰岩中含有丰富的不同种类的生物碎屑, 以生物碎屑为主的颗粒约占 40%, 包括有孔虫、介形虫、双壳类、藻类等。生物碎屑的丰度高、多已破碎。粒间充填有灰泥, 可见少量细粒的亮晶方解石散布于灰泥基质当中, 可能为重结晶的灰泥或细小的生物碎屑。岩石总体呈颗粒支持的泥粒结构, 重结晶作用强烈, 有些砂屑内部的泥晶方解石由于淡水的介入而被溶解, 后被粒状方解石所充填。使得内碎屑的内部结构遭到破坏, 沉积于中等能量的水动力条件环境中。

2.6 MF6 砾屑灰岩

MF6 砾屑灰岩微相(图版 I-7), (层号 36, 40,

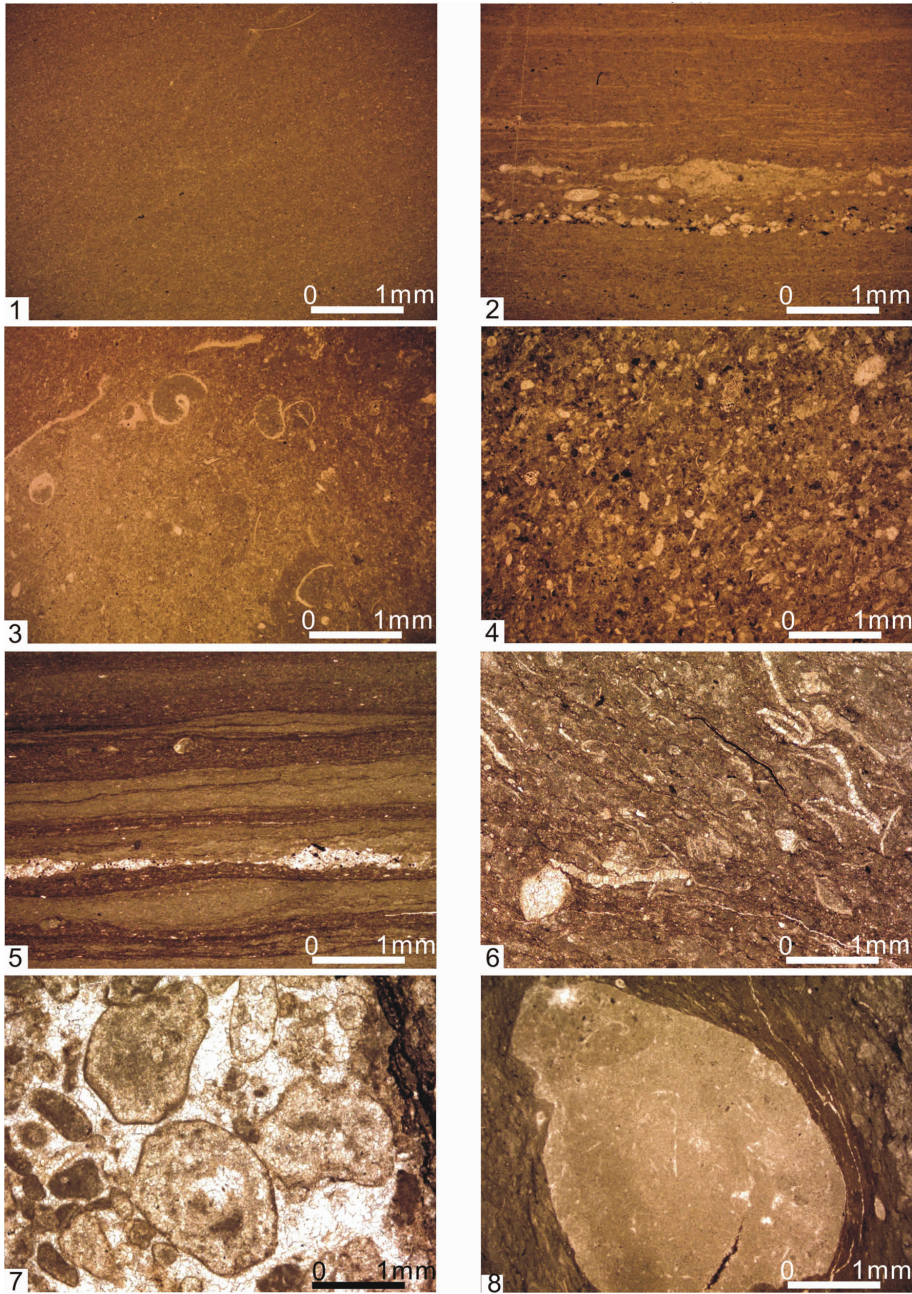
52, 53, 54, 55, 56)砾屑颗粒含量可达 50%, 大小为 1~2.5 mm, 成分主要是泥晶方解石, 溶解和充填作用比较发育, 重结晶作用强烈。砾屑磨圆度较好, 少数呈现棱角状, 含少量生物碎屑, 都被泥晶所包裹。砾屑颗粒之间为亮晶方解石胶结, 部分胶结物和砾屑被后期的白云石化所交代。另外可见到大的内碎屑镶嵌于泥晶基质中(图版 I-8), 内碎屑大小为 4 mm×8 mm, 体积分数不到 10%, 砾屑旁还可见到有孔虫、介形虫等生物碎屑。发育波状层理、包卷层理、同沉积断裂、底冲刷等沉积构造。形成于水体能量较高的环境中, 是物质经过改造后再沉积。

3 化石富集规律

笔者在云南罗平县九光村上石坎开展化石采掘过程中, 采用了人工逐层剥离的开采方式, 采集了 3 千余件鱼类、龙鱼类、爬行类、双壳类、腹足类、植物等化石标本, 同时在开采工程点测制了云南罗平上石坎剖面。通过在化石采掘现场对化石标本进行了编号、分类统计, 并把统计所得出的化石分布结果投到地层剖面上, 揭示出一个更加详细的罗平生物群化石地层富集规律(图 2)。生物群以丰富的鱼类化石为特征, 初步统计有超过 25 种的肉鳍鱼类(Sarcopterygians)和辐鳍鱼类(Actinopterygians), 伴生的海生爬行类有: 鱼龙类(Ichthyosaurs)、原龙类(Protosaurs)、楯齿龙类(Placodonts)、肿肋龙类(Pachypleurosaurs), 以及大量的双壳类、腹足类、棘皮类和陆地植物^[2]。罗平生物群在剖面上的富集特征描述如下: 化石层的底部(0~10 层)主要为一套半局限台地—开阔台地相沉积的碳酸盐岩, 岩性为厚层状藻粘结灰岩, 向上过渡为灰黑色中层状含生屑泥晶灰岩。该段中未发现鱼类、龙鱼、鱼龙和海生爬行动物, 藻纹层理发育, 生屑泥晶灰岩中的生屑主要为双壳类和腹足类。

下段(12~37 层): (1)12~18 层主要为灰黑色薄—纹层状含燧石结核或条带泥晶灰岩, 总厚度为 0.5~0.6 m。这一亚段中主要产出少量的鱼类、龙鱼和海生爬行类化石, 且化石相对富集。鱼类化石由 12 层向上是逐渐减少的, 龙鱼类向上有略微增加的趋势, 少量的海生爬行类仅在 17 层中发现, 没有出现植物化石; (2)19~37 层主要为黑色薄—纹层状泥晶灰岩, 总厚度为 2~2.1 m。较(1)亚段含燧石结核或条带的数量增多、个体增大。鱼类、龙鱼、海生爬行类化石明

图版 I (Plate I)



(采样地点:云南罗平九光村上石坎剖面)

- 1—灰泥灰岩微相,沉积组分几乎全部为泥晶方解石,单偏光;2—生物碎屑-内碎屑组成的粒序层理,生屑主要由有孔虫、介形虫构成,介形虫的长轴平行于层理方向,单偏光;3—生屑粒泥灰岩,灰泥支撑的结构类型,生屑见有双壳、腹足类、棘皮类等,单偏光;4—粪球粒-生屑泥灰岩,粒泥结构,颗粒主要由粪球粒(黑色小点)和生屑组成,单偏光;5—纹层状泥晶灰岩,“亮层”与“暗层”交替出现,纹层略有波动,单偏光;6—生屑泥粒灰岩,生屑见有介形虫、有孔虫、双壳类等,因粒状方解石充填,使得生屑内部结构遭到破坏,单偏光;7—砾屑灰岩,磨圆度较好,溶解和充填作用发育,重结晶作用强烈,单偏光;8—内碎屑镶嵌于泥晶基质中,大小约 4 mm×8 mm,见有孔虫、介形虫碎屑,单偏光

(Sampling location: Shangshikan section, Jiuguang Village, Luoping County, Yunnan)

- 1—Marlite composed almost exclusively of micrite calcite, plainlight; 2—Graded bedding consisting of bioclastic-intra debris. Bioclasts are mainly composed of foraminifera and ostracods whose long axis extends along the bedding plane, plainlight; 3—Bioclastic wackestone with mud-supported structure, with the bioclasts being bivalves, gastropods, echinoderms, etc. plainlight; 4—Pelleted-bioclastic marlite with grain-clay structure, faecal pellets (black points) and bioclasts constituting the particles, plainlight; 5—Laminated micrite, which has alternate “bright layer” and “dark layer”, and the laminae fluctuates slightly, plainlight; 6—Bioclastic packstone, with the bioclasts being ostracods, foraminifera, bivalves, etc. and the bioclastic intra structures destroyed due to granular calcite filling, plainlight; 7—Calcirudite with good roundness, which has experienced dissolution, filling and strong recrystallization, plainlight; 8—Debris embedded in the micritic matrix, whose size is about 4 mm×8 mm, with foraminifera and ostracods debris, plainlight

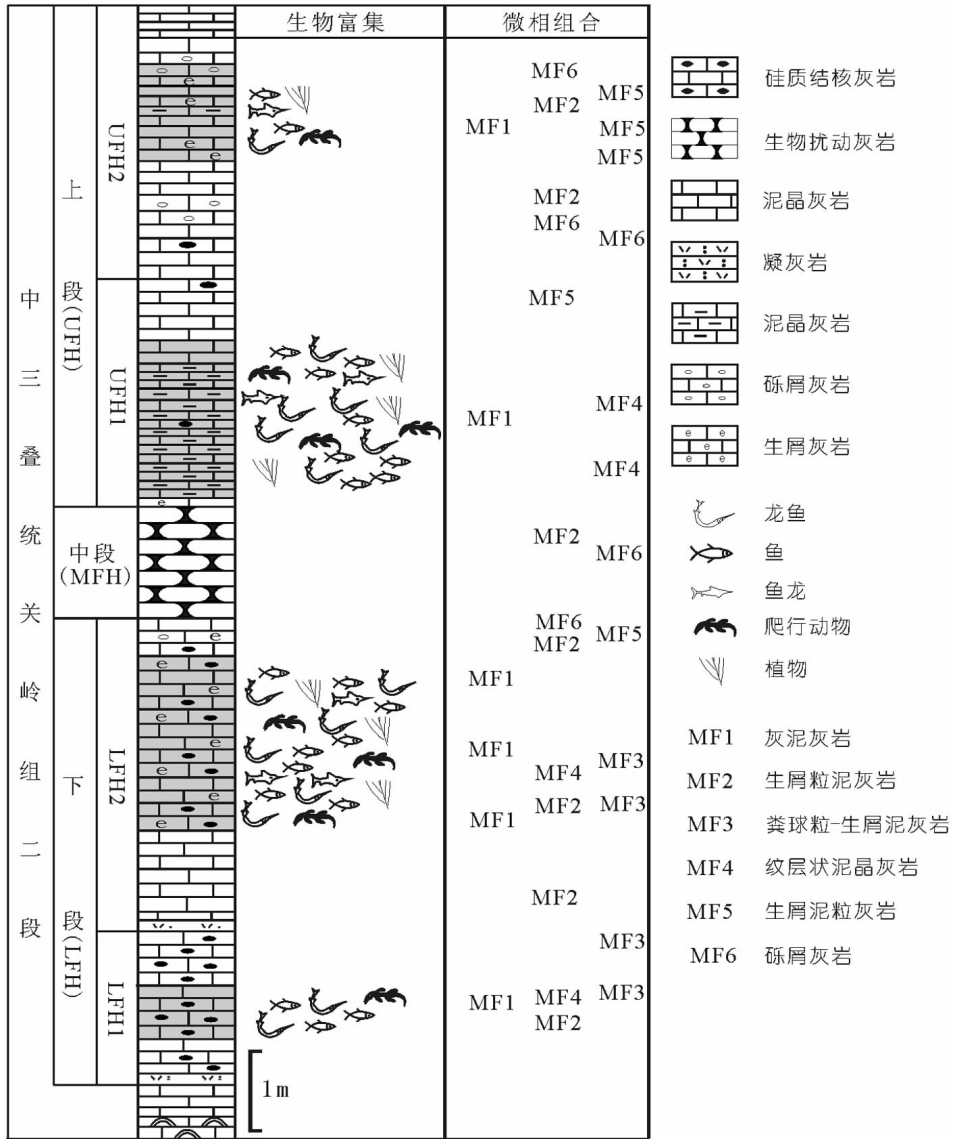


图3 上石坎剖面沉积微相与化石富集规律关系

Fig.3 The relationship between microfacies and enrichment pattern of fossils in Shangshikan section

显增多^[29],这一亚段是整个剖面中化石产出量较大的3个亚段之一,而且化石具有保存完整,丰度和分异度高的特点,产出大洼子龙鱼(*Saurichthys dawaziensis* Wu)^[8]。龙鱼富集度曲线从18层向上整体波动不大,从32层开始发生明显陡转,迅速升高,在33层和34层达到了最大值,接着进入了下降阶段,到37层跌至最低值。其中的31层层面上产出大量的鱼类化石,初步统计鱼类丰度之高达约30/m²,被当地老乡称为“观鱼板”,产罗平裂齿鱼(*Luopingichthys bergi* Sun)^[29]。鱼的富集度曲线从29层开始向上升高,期间有小幅的波动,一直到35层才

开始缓慢回落至37层达到了最低值。同时产出大量保存完整的陆地植物化石,叶片中的叶脉都清晰可见,初步鉴定为松柏类,因其产出层位较少,所以富集度曲线变化特征不明显。海生爬行动物的富集度曲线从32层开始出现,一直到第35层消失,期间都没有明显的波动。

中段(38~41层):为一套灰黑色中—厚层状生物扰动灰岩,以含大量燧石结核和生物扰动作用产生的“瘤体”为标志,由于生物扰动作用强烈,整个岩层看起来像发育波状、脉状或透镜状层理。总厚度为1~1.2 m。见到丰富的双壳类和腹足类化石,岩层顶面上

发育大量的生物扰动遗迹,说明当时的水体条件已经从下段的缺氧、还原、滞留的状态下恢复过来。

上段(42~56层):(1)42~48层主要为灰—深灰色薄层状泥质灰岩,泥质含量高,向上逐渐过渡为泥晶灰岩,含少量的燧石结核,水平纹层极其发育。统计结果显示该亚段是鱼类、龙鱼类、海生爬行类、植物类等化石最富集的一个层段,总厚度约为4 m。鱼类化石从42层就开始出现,其富集度曲线是从42层的峰值向上缓慢回落到48层的最低值,这条曲线几乎成一条与水平方向成45°交角的直线。该亚段龙鱼化石保存完整,包含各个成长阶段的龙鱼个体,从幼年到成年,个体从2~3 cm到50~60 cm都可以见到,产出云南龙鱼(*Saurichthys yunnanensis* Zhang)^[30]。龙鱼富集度曲线从42层开始上升到43层,接着就处于下降阶段,一直降到45层的最低值,经历了46层的略微回升后又开始降低,一直持续到48层。植物富集度曲线从43层一开始就出现最大值,接着进入了缓慢回落的阶段,在46层到达了该亚段的最小值。海生爬行类富集度曲线从44层向上整体波动很小,一直持续到48层才略有上升。海生爬行类有:鱼龙类(Ichthyosaurs)、原龙类(Protorosaurs)、楯齿龙类(Placodonts)、肿肋龙类(Pachypleurosaurs)。另外见到了大量的双壳类、腹足类和棘皮类化石。(2)49~56层为一套灰—深灰色薄—中层状泥晶灰岩沉积,发育波状层理、包卷层理、滑塌构造等沉积现象,56层见到大型的包卷层理,底面存在明显的冲刷面,较(1)亚段沉积环境的水动力条件明显增强。统计结果显示,该亚段鱼类仅出现在了51、52、53和55层,其富集度曲线呈现明显的“Z”字形变化。采掘现场收集到长达50 cm的鱼,但不完整,其旁边可见到大量散落层面的鳞片。龙鱼化石富集度曲线延续了(1)亚段中的变化趋势,向上一直下降,到50层时到达了最低值,接着又开始回升,除了在52层处有个不明显的降低趋势外,整体波动幅度不是很大,这样一直持续到54层。植物化石富集度曲线从49层开始下降到50层的最低值,接着开始回升,一直到达本亚段的峰值位置53层。海生爬行类富集度曲线从53层开始向上升高,到55层结束,但化石保存不完整,脊椎动物保存不全,有些骨架甚至杂乱堆积在一起。

4 沉积微相与化石富集规律的关系

通过前述上石坎剖面罗平生物群产出层位的沉

积微相特征和化石富集规律,为了更清楚地说明两者之间的联系与对应关系,对上石坎剖面进行了精炼概括(图3),将剖面划分为生物群上层段UFH(Upper Fossil Horizon)(剖面42~56层)和生物群下层段LFH(Lower Fossil Horizon)(剖面12~37层),又考虑到每段中生物群富集程度、化石种类、沉积微相等存在差异而进一步细分为UFH1(42~48层)段、UFH2(49~56层)段和LFH1(12~18层)段、LFH2(19~37层)段,将沉积微相分析所得结果与生物群富集程度进行对比可以得出以下认识:

(1)LFH1(12~18层)段中生物富集程度较低,对应的沉积微相为:MF1、MF2、MF3、MF4,这种沉积微相类型组合出现在深水低能环境中。生物富集程度较低可能是由于沉积环境由底部的开阔台地转变到台内盆地过程中环境因素变化滞后,此时水体没有完全达到滞留、缺氧的状态,不利于化石的完整保存。UFH2(49~56层)段中生物富集程度也较低,但较LFH1段高,此段对应的沉积微相为:MF1、MF2、MF5、MF6,这种沉积微相组合代表了一种高能的水动力条件沉积环境。从野外宏观露头上发育的包卷层理、滑塌构造、滞留砾石等沉积构造也证明了该段水动力条件强,使得底层海水形成了短暂的富氧阶段,这样含氧量正常时期大量底栖生物包括鲎类得以生存和繁盛,而随后的滞留缺氧环境则不利于龙鱼、鱼类和海生爬行类等大型动物的生存,却使缺少矿化外壳的底栖生物(如双壳、螺、鲎等)得以保存^[31]。即使有保存下来的鱼类、龙鱼类、海生爬行类和植物等化石,也具有不完整、散落的特点。

(2)LFH2(19~37层)段和UFH1(42~48层)段是上石坎剖面中生物群富集程度最高的两段,产出大量保存完整,个体较大的鱼类、龙鱼类、海生爬行类和植物化石。对应的沉积微相为:MF1、MF2、MF3、MF4,这种沉积微相类型组合是典型的深水低能环境沉积的,盆地的底部通常处于浪基面和氧化界限之下,沉积物经常是黑色的,以悬浮沉积为主,经常是纹层状泥晶灰岩,纹层局部部分会受到浊流或风暴流扰动^[32]。从岩性特征分析,LFH2(19~37层)相当于同处于安尼期(中三叠世,大约240 Ma)的盘县动物群中的Cy12层,此阶段Ce/La值在1.6和1.8之间,指示了海平面升高,水体相对较深,且这一时期水体环境稳定^[33]。

上石坎剖面以灰—深灰色纹层状沉积为主,间

阻性出现水动力明显增强的沉积序列。从岩性、沉积构造以及化石保存特征来看,罗平生物群沉积与埋藏环境属于静水环境,当时台内盆地底部水体得不到交换,已经变得滞留、缺氧、还原,另外有机质腐烂消耗的氧气也得不到及时的供给,厌氧细菌开始繁殖,产生大量有毒气体 H_2S 。生物死亡后沉入水体,便处于与氧气隔绝的环境中,被完整保存下来,所以化石富集程度很高。

5 结 论

(1)生物群在地层中的富集程度与当时水体中生物种类的丰度、分异度,以及沉积与埋藏环境密切相关^[34-35]。通过对上石坎剖面详细的碳酸盐岩微相分析,得出产罗平生物群层段的沉积环境为深水、低能的台内盆地。其沉积微相类型有:MF1 灰泥灰岩、MF2 生屑粒泥灰岩、MF 粪球粒-生屑泥灰岩、MF4 纹层状泥晶灰岩、MF5 生屑泥粒灰岩和 MF6 砾屑灰岩。MF1—MF4 的沉积组分主要是泥晶方解石,含少量生物碎屑,这是一种低能环境下的沉积产物,这种微相特征所反映的沉积与埋藏环境,与根据生物群组合及富集度分析得出沉积与埋藏环境吻合。表明罗平生物群死亡后就地沉积埋藏,盆地中水体较深且宁静、低能、气候温暖。

(2)上石坎剖面罗平生物群产出层位的沉积微相与生物群富集有很好的对应关系:LFH2 (19-37层)段和 UFH1(42-48层)段是罗平生物群富集程度最高的两段,产出大量保存完整,个体较大的鱼类、龙鱼类、海生爬行类和植物化石,对应低能环境下的沉积微相(MF1、MF2、MF3、MF4);而沉积微相(MF5、MF6)所代表的高能沉积环境,产生大量同沉积变形构造(同沉积断层、包卷层理等)^[36],则是不利于化石的保存。

(3)中三叠世安尼期时,罗平地区处于扬子南缘台地上的台内盆地中,当高海平面时期,台内盆地底部水体得不到交换,逐渐变得滞留、缺氧、还原,另外有机质腐烂消耗的氧气也得不到及时的供给,厌氧细菌开始繁殖,产生大量有毒气体 H_2S 。生物死亡后沉入水体,便处于与氧气隔绝的环境中,有效防止了死亡生物的氧化分解,所以化石富集程度很高。

致谢:参加野外工作的还有成都地质矿产研究所周长勇工程师、吕涛助理工程师、黄金元助理工程师,他们给予了我很大的的支持和帮助,在此一并表

示衷心的感谢!

参考文献(reference):

- [1] 张启跃, 周长勇, 吕涛, 等. 云南罗平中三叠世安尼期生物群的发现及其意义[J]. 地质论评, 2008, 54(4):523-526.
Zhang Qiyue, Zhou Changyong, Lv tao, et al. Discovery and Significance of the Middle Triassic Anisian Biota [J]. Geological Review, 2008, 54(4):523-527(in Chinese with English abstract).
- [2] Zhang Q Y, Zhao L S, Zhou C Y, et al. A Conodont-based Middle Triassic age assignment for the Luoping Biota of Yunnan, China [J]. Science in China (Series D-Earth Sciences), 2009, 52: 1673-1678.
- [3] 黄金元, 张克信, 张启跃, 等. 云南罗平中三叠世大凹子剖面牙形石生物地层及其沉积环境研究[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(3): 211-224.
Huang Jinyuan, Zhang Kexin, Zhang Qiyue, et al. Conodonts stratigraphy and sedimentary environment of the Middle Triassic at Dawazi section of Luoping county, Yunnan Province, South China [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2009, 26 (3):211-224 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈孝红, 程龙. 混鱼龙(爬行动物:鱼龙类)在云南罗平中三叠统的发现[J]. 地质学报, 2008, 83(9):1214-1220.
Chen Xiaohong, Cheng Long. The discovery of Mixosaurus (Reptilia: Ichthyopterygia) from the Middle Triassic of Luoping, Yunnan Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 83(9):1214-1220 (in Chinese with English abstract).
- [5] Li Chun. First record of Tanystroid (order Protorosurra) from the Middle Triassic of China [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4): 419-423.
- [6] 郝维城, 孙元林, 江大勇, 等. 盘县动物群研究进展 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(6):817-823.
Hao Weicheng, Sun Yuanlin, Jiang Dayong, et al. Advance in studies of the Panxian Fauna [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinednsis, 2006, 42 (6):817-823 (in Chinese with English abstract).
- [7] Sun Zuoyu, Andrea Tintori, Cristina Lombardo, et al. A new species of the genus colobodus agassiz, 1844 (Osteichthyes, actinopterygii) from the pelsonian (Anisian, Middle Triassic) of Guizhou, South China [J]. Rivista Italiana di Paleontologiae Stratigrafia, 2008, 114 (3):363-376.
- [8] Wu Feixiang, Sun Yuanlin, Hao Weicheng, et al. New species of Saurichthys (Actino pterygii: Saurichthyidae) from Middle Triassic (Anisian) of Yunnan Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(3):440-450.
- [9] Wilson J L. Microfacies and sedimentary structures in 'deep water' lime mudstone[C]//Frideman G M(ed.). Depositional environments in carbonate rocks. A symposium - Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, 1969, 14:4-19.

- [10] Novak F J, Carozzi A V. Microfacies of the Upper Bird Spring Group (Pennsylvanian-Permian), Arrow Canyon Range, Clark County, Nevada[J]. Archives Sciences Genève, 1973, 25:343-382.
- [11] 包洪平, 杨承运. 碳酸盐岩微相分析及其在岩相古地理研究中的意义[J]. 岩相古地理, 1999, 19(6):59-64.
Bao Hongping, Yang Chengyun. Carbonate microfacies analysis and its significance in the study of the lithofacies palaeogeography [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1999, 19(6):59-64(in Chinese with English abstract).
- [12] Onoue T, Stanley G D. Sedimentary facies from Upper Triassic reefal limestone of the Sambosan Accretionary Complex in Japan: mid-ocean patch reef development in the Panthalassa Ocean [J]. Facies, 2008, 54:529-547.
- [13] Haslett S. The paleoenvironmental implication of the distribution of intertidal foraminifera in a tropical Australian estuary: a reconnaissance study[J]. Australian Geographical Studies, 2001, 39: 67-74.
- [14] Christopher T Perry, Andrew Berkeley, Scott G Smithers. Microfacies characteristics of a tropical, Mangrove-fringed shoreline, Cleveland bay, Queensland, Australia: sedimentary and taphonomic controls on mangrove facies development[J]. Journal of Sedimentary Research, 2008, 78:77-97.
- [15] 王尚彦, 王敏, 刘家仁. 关岭生物群产出地层的岩石微相和沉积环境意义[J]. 贵州地质, 2004, 22(1):43-45.
Wang Shangyan, Wang Min, Liu Jiaren. Petrographic microfacies and environmental implications on the bearing horizons of Guanling Biota [J]. Guizhou Geology, 2004, 22 (1): 43-45 (in Chinese with English abstract).
- [16] 孙作玉, 郝维城, 江大勇. 关岭动物群埋藏环境初探 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(6):864-871.
Sun Zuoyu, Hao Weicheng, Jiang Dayong. Elementary discussion of taphonomic environment of Guanling Fauna, Guizhou Province, China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004, 40(6): 864-871(in Chinese with English abstract).
- [17] 白建科, 张启跃, 尹福光, 等. 云南罗平中三叠统关岭组二段碳酸盐岩微相分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(3):15-21.
Bai Jianke, Zhang Qiyue, Yin Fuguang, et al. Carbonate microfacies in the Second Member of the Middle Triassic Guanling Formation in Luoping, Yunnan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2009, 29 (3):15-21 (in Chinese with English abstract).
- [18] Enos P, Wei Jiayong, Lehrmann D J. Death in Guizhou-Late Triassic drowning of the Yangtze carbonate platform [J]. Sedimentary Geology, 1998, 118:55-76.
- [19] Lehrmann D J, Enos P, Payne J L, et al. Permian and Great Bank of Guizhou in the Nanpanjiang basin of Guizhou and Guangxi, south China[J]. Albertiana, 2005, 33:149-168.
- [20] 秦建华, 吴应林, 颜迎基, 等. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化[J]. 地质学报, 1996, 70(2):99-107.
Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yan Yingji, et al. Hercynian - Indosinian sedimentary-tectonic evolution of the Nanpanjiang basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(2): 99-107 (in Chinese with English abstract).
- [21] 章正军, 丁俊, 赵珉. 滇东南三叠纪层序地层及盆地演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
Zhang Zhengjun, Ding Jun, Zhao Min. Triassic Sequence Stratigraphy and Basin Evolution in Southeastern Yunnan [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998 (in Chinese with English abstract).
- [22] 章正军, 丁俊, 赵珉. 南盘江盆地三叠纪沉积构造演化 [J]. 云南地质. 2000, 19(2):171-178.
Zhang Zhengjun, Ding Jun, Zhao Min. The sedimentary and structural evolution of Triassic in the Nanpanjiang river basin [J]. Yunnan Geology, 2000, 19 (2):171-178 (in Chinese with English abstract).
- [23] 吴浩若. 晚古生代—三叠纪南盘江海的构造古地理问题[J]. 古地理学报, 2003, 5(1):63-76.
Wu Haoruo. Discussion on tectonic palaeogeography of Nanpanjiang sea in the Late Palaeozoic and Triassic [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5 (1):63-76 (in Chinese with English abstract).
- [24] 汪啸风, 陈孝红, 程龙, 等. 关岭及相关生物群沉积与生态环境的探讨[J]. 古生物学报, 2009, 48(3):509-526.
Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong, Cheng long, et al. Sedimentary and palaeoecological environments of the Guanling and related Biotas [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2009, 48 (3):509-526 (in Chinese with English abstract).
- [25] 孙媛媛, 刘俊, 吕涛, 等. 罗平生物群产出层位氧碳稳定同位素的初步研究[J]. 地质学报, 2009, 83(8):1110-1116.
Sun Yuanyuan, Liu Jun, Lv Tao, et al. Oxygen and carbon isotopic compositions of Middle Triassic carbonates from the Dawazi section of Luoping, Yunnan: implications for paleoenvironment of the Luoping biota[J]. Acta geological Sinica, 2009, 83(8):1111-1117 (in Chinese with English abstract).
- [26] Dunham R J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture [J]. Memoir of the American Association of Petroleum Geologists, 1962, 1:108-121.
- [27] Wilson J L. Carbonate Facies in Geological History [M]. Berlin: Springer-verlag, 1975, 1-284.
- [28] Flügel E. Microfacies Analysis of Limestone[M]. Berlin, Heidelberg, New York:Springer-Verlag, 1982, 1-633.
- [29] Sun Zuoyu, Andrea Tintori, Jiang Dayong, et al. A new Perleiidiform (Actinopterygii, Osteichthyes) from the Middle Anisian (Middle Triassic) of Yunnan, South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (3):460-470 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张启跃, 周长勇, 吕涛, 等. 云南罗平地区中三叠统龙鱼化石的发现[J]. 地质通报, 2010, 29(1):26-30.
Zhang Qiyue, Zhou Changyong, Lv Tao, et al. Discovery of Middle Triassic Saurichthys in the Luoping area, Yunnan, China[J].

- Geological Bulletin of China, 2010, 29(1): 26–30(in Chinese with English abstract).
- [31] 张启跃, 胡世学, 周长勇, 等. 鲨鱼化石(节肢动物)在中国的首次发现[J]. 自然科学进展, 2009, 19(10):1090–1093.
Zhang Qiyue, Hu Shixue, Zhou Changyong, et al. Horseshoe crab fossils(arthropods) was first discovered in China[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(10):1090–1093(in Chinese with English abstract).
- [32] Milliman J D. Marine Carbonates. Berlin–Heidelberg–New York: Springer. 1974.
- [33] Jiang Dayong, Ryosuke Motani, Hao Weicheng, et al. Biodiversity and sequence of the Middle Triassic Panxian Marine Reptile Fauna, Guizhou Province, China[J]. 2009, 83(3):451–459.
- [34] 汪啸风, 陈孝红, 陈立德, 等. 关岭生物群——世界上罕见的化石库[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 20–35.
Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong, Chen Lide, et al. The Guanling Biota——A unique “Fossilagerstätte” in the world[J]. Geology in China, 2003, 30(1):20–35(in Chinese with English abstract).
- [35] 李旭兵, 孟繁松, 王传尚. 贵州关岭生物群双壳类化石的古生态特征[J]. 中国地质, 2005, 32(1):41–47.
Li Xubing, Meng Fansong, Wang Chuanshang. Paleocological characteristics of fossil bivalves from the Guanling biota in Guizhou [J]. Geology in China, 2005, 32 (1):41–47 (in Chinese with English abstract).
- [36] 白建科, 张启跃, 尹福光, 等. 云南罗平生物群埋藏环境初步研究: 来自沉积构造的证据[J]. 沉积学报, 2010, 28(4):762–767.
Bai Jianke, Zhang Qiyue, Yin Fuguang, et al. Preliminary study of taphonomic environment of Luoping Biota: evidence from sedimentary structures[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 762–767(in Chinese with English abstract).

Microfacies and enrichment pattern of fossils in the fossiliferous beds of Luoping Biota, Yunnan Province

BAI Jian-ke¹, YIN Fu-guang², ZHANG Qi-yue²

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Shangshikan stratigraphic section in Luoping of Yunnan Province is a representative fossiliferous bed that produced Luoping Biota. According to the standard microfacies model put forward by Wilson (1975), the authors recognized six types of microfacies, i.e., marlite, bioclastic wackestone, pelleted–bioclastic marlite, laminated micrite, bioclastic packstone and calcirudite, in the fossiliferous bed of Shangshikan section. The fossiliferous bed can be subdivided into two horizons: the Upper Fossil Horizon (UFH) and the Lower Fossil Horizon (LFH). The relationship between microfacies and fossil enrichment in each fossiliferous horizon was further studied. The result reveals that four kinds of microfacies are mainly developed in the fossil–enriched horizons, comprising marlite, bioclastic wackestone, pelleted–bioclastic marlite and laminated micrite, whose assemblage always occurs in the deep, low–energy intra–platform basin. The water in this environment implies a high anoxic and retained condition, This study shows that this intra–platform basin is highly anoxic and retained, which is suitable for the preservation of fossils.

Key words: Luoping biota; microfacies; enrichment pattern of fossils; intra–platform basin

About the first author: BAI Jian-ke, male, born in 1983, assistant engineer, engages in the study of sedimentary petrology; E-mail: baijianke2003@163.com.