

文章编号: 1000-0550(1999)04-0547-06

贵州贵阳贞丰地区早中三叠世深水碳酸盐斜坡沉积特征、演化和构造控制

秦建华 颜仰基 吴应林 谭钦银

(地矿部成都地质矿产研究所 成都 610082)

摘要 早中三叠世贵州贵阳贞丰地区构造上位于南盘江盆地西北缘,其深水碳酸盐斜坡沉积作用由原地碳酸盐和异地碳酸盐组成。其中,异地碳酸盐有碎屑流、变密度颗粒流、浊流和沉积物滑动4种类型。组成了碳酸盐同斜缓坡、沉积型斜坡和跌积型斜坡三种斜坡沉积类型。在早中三叠世全球海平面上升背景下,碳酸盐斜坡沉积主要受构造活动的控制。早三叠世,盆地处于被动边缘,碳酸盐斜坡经历了由缓坡到进积型沉积斜坡的发展。中三叠世随着盆地进入到前陆盆地的演化,碳酸盐斜坡受挠曲引张作用影响,发展成后退的跌积型斜坡,并经历了从阶梯状后退到连续后退的演化。

关键词 贵州贵阳贞丰 早中三叠世 碳酸盐斜坡 构造控制

第一作者简介 秦建华 男 1964年出生 副研究员 沉积地质 盆地分析

中图分类号 P588.24⁺5 **文献标识码** A

贵州贵阳贞丰地区发育有良好的中下三叠统碳酸盐岩露头。在构造上,它构成了印支期南盘江盆地西北缘^[1]。古地理上,它位于上扬子浅水碳酸盐台地和深水碳酸盐斜坡沉积过渡地带(图1)。以往,人们的研究主要集中在对它的浅水碳酸盐沉积作用上^[2~3],而对其深水碳酸盐沉积作用涉及较少。本文就将主要对该地区早中三叠世深水碳酸盐斜坡沉积特征和演化及其控制作用进行研究。

1 沉积作用类型

早中三叠世,研究区深水碳酸盐斜坡沉积作用由原地碳酸盐和异地碳酸盐沉积组成。其中,异地碳酸盐由碎屑流、变密度颗粒流、浊流和沉积物滑动4种类型构成。

原地碳酸盐主要形成灰色、黑灰色薄层状泥晶灰岩和粪球粒构造,并在岩石中不同程度地发育了生物扰动构造。该沉积类型主要构成了深水碳酸盐的正常背景沉积,并在研究区广泛发育。

下面,我们将重点对研究区异地碳酸盐的4种主要沉积类型进行研究。

1.1 碎屑流沉积

它是一种粘滞性重力流,又称水下泥石流。是

研究区深水异地碳酸盐沉积作用的一种主要类型,形成了漂浮砾石灰岩和角砾灰岩两种岩石类型。

(1)漂浮砾石灰岩 砾石成份由来自边缘浅滩和斜坡本身的灰岩碎屑组成。前者主要是生物碎屑颗粒灰岩、鲕粒颗粒灰岩、珊瑚礁灰岩和(具有栉壳状胶结结构的)核形石颗粒灰岩碎屑,砾石呈不规则状和块状形态,具棱角和次棱角状,最大至2 m×

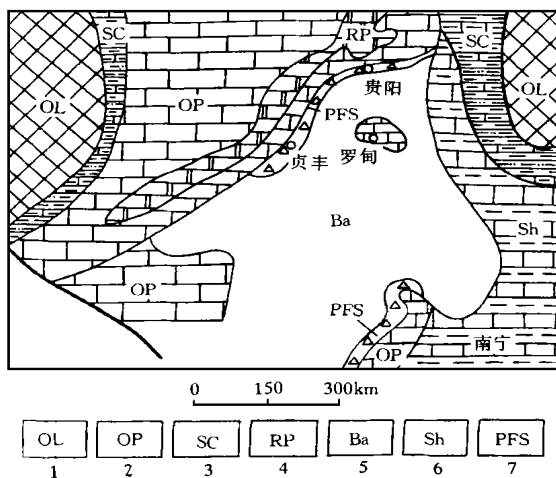


图1 上扬子地区早中三叠世岩相古地理略图^[4]

Fig. 1 Early-middle Triassic schematic paleogeographic map of Upper Yangtze area^[4]

2 m, 小者为 $0.1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$, 一般为 $20\text{cm} \times 40\text{cm}$; 而自斜坡本身的角砾碎屑, 大者为 $1.5\text{m} \times 0.6\text{m}$, 一般大小为 $4\text{cm} \times 8\text{cm}$, 由发育泥质纹层的薄层泥晶灰岩和具生物扰动构造的泥晶灰岩及薄层状浊积颗粒(泥粒)灰岩碎屑组成, 呈板块状。其原始沉积构造如平行纹层、生物扰动构造大多保存良好, 但亦有些碎屑的原始沉积构造在其顺斜坡向下搬运过程中发生了流动塑性变形。岩石呈杂基支撑, 杂基为灰泥, 其中还含有少量海百合碎屑、砂屑颗粒。岩石碎屑无分选、无粒序。在含有板条状碎屑的岩石中, 板条状碎屑大多呈定向分布。岩体底面缺乏任何底模构造, 说明碎屑流至少在沉积搬运的最后阶段具有纹层状流动特征^[5]。碎屑流沉积层厚 $3 \sim 4\text{m}$, 最小厚 50cm , 呈透镜状, 侧向延伸一般为 $1 \sim 2\text{m}$, 最长可达 40m , 在透镜体最厚处达 4m 。有些碎屑流沉积体具有水道化特征, 并对下伏岩层进行冲刷。该类型沉积物在贵阳改毛大冶组(T_1^1)、贵阳青岩茅谷冲罗楼组中上部(T_1^2)和青岩组(T_2^1)及贞丰花稿岭边阳组(T_2^2)中大量发育, 组成斜坡裙和内扇水道沉积。

(2)角砾灰岩 岩石呈碎屑支撑。它与由变密度颗粒流形成的角砾灰岩(见下述)的区别是, 其杂基主要是泥质物。碎屑流在沿斜坡向下的滚动搬运中, 其中所含的泥质杂基虽然不能提供足够的强度来撑托碎屑进行搬运, 但它提供的浮力能减少碎屑的有效重量并能使碎屑间相互润滑, 以防止其发生摩擦冻结。该类型岩石在本区各时代边缘斜坡沉积中较为发育。它是贵阳青岩地区青岩组, 贞丰边阳组和贵阳新邵罗楼组上部地层的主体沉积物, 可构成浊积内扇水道和斜坡裙沉积。碎屑是由来自边缘浅滩的生物碎屑颗粒灰岩、砂屑颗粒灰岩, 鲕粒颗粒灰岩和白云岩碎屑以及来自边缘斜坡本身的浊积颗粒(泥粒)灰岩、泥晶灰岩碎屑组成。碎屑大小混杂、无分选、无粒序。小的仅为 $3\text{mm} \times 4\text{mm}$, 大的可达 $1.5\text{m} \times 1.7\text{m}$, 一般为 $(6 \sim 40)\text{cm} \times (7 \sim 60)\text{cm}$, 碎屑形状各异。来自边缘浅滩的碎屑多呈块状, 而来自斜坡本身的碎屑一般呈长条状, 并保持其原生沉积构造如水平纹层。另外, 常发生岩层对下伏岩石施行了冲刷, 但在岩体底部未能见到任何底模构造, 说明该重力流体具有纹层状流动性质。在组成内扇水道的碎屑流角砾灰岩中, 最厚可达 30m , 宽达 20m , 并对下伏层造成强烈侵蚀, 在侧向上相变为由薄层颗粒(泥粒)浊积灰岩和泥晶灰岩组成的水道堤岸

沉积。在垂向, 该巨厚层状角砾灰岩向上相变为薄层、中层状浊积颗粒(泥粒)灰岩。它是该内扇水道侧向发生迁移后的水道堤岸沉积。而在构成斜坡裙的碎屑流角砾灰岩中, 其形状或呈席状或呈透镜状。前者厚达 15m , 并且至少在 50m 侧向范围内沉积厚度稳定; 而后者则在侧向上不超过 10m 的范围内就发生变薄尖灭, 其最厚处达 1.5m 。

1.2 变密度颗粒流

变密度颗粒流(Density-modified grain flow)是颗粒流的一种变种。众所周知, 真正的颗粒流是由 Middleton 和 Hampton 于 1976 年根据 Sanders (1965)和 Stauffer(1967)对颗粒流进行的野外地质调查和在 Bagnold(1954, 1956)颗粒流进行的实验研究成果基础上提出来的。但后经 Lowe^[6]研究后认为, 真正的颗粒流仅能在 $18 \sim 28^\circ$ 坡度范围内形成, 而且, 其沉积厚度通常也是小于 5cm 的。因此, 它实际上仅能形成于陆相和下水砂丘前积层崩落面上。针对上述情况, Lowe 提出了变密度颗粒流这个概念^[6]。它是一种非粘滞性碎屑流。粉砂和砂质物是其杂基的主要成份。其沉积厚度一般超过 40cm , 并为碎屑支撑。它的形成要求斜坡度为或小于 9° , 据研究, 该类型沉积物主要出现在早三叠世边缘斜坡沉积中。可在青岩茅谷冲罗楼组, 贵阳改毛大冶组和青岩新邵罗楼组地层中见到。主要是角砾灰岩。其角砾成分与碎屑流角砾岩相似, 是由来自边缘浅滩和斜坡本身的碎屑角砾组成。前者主要是砂屑颗粒灰岩、生物碎屑颗粒灰岩, 呈圆球状、方块状, 其棱角比较明显, 大者为 $15\text{cm} \times 19\text{cm}$, 小者为 $3\text{cm} \times 2\text{cm}$; 一般为 $7\text{cm} \times 5\text{cm}$; 而后者为含泥质条带薄层泥晶灰岩碎屑, 呈长条状, 大小一般为 $40\text{cm} \times 10\text{cm}$, 具定向性排列, 并平行岩层面, 它一般出现在岩层的下部。另在岩层底面未见发育有底模构造, 表明该变密度颗粒流亦具有纹层状流动特性。另外, 岩层呈透镜状, 厚者为 1.1m , 一般为 $70 \sim 80\text{cm}$, 侧向延伸 $5 \sim 6\text{m}$ 便发生变薄, 尖灭。岩层一般不具有粒序构造, 少数岩层中可见到由底到顶发育逆粒序(或无粒序)变化到正粒序直至顶部出现斜层理和平行层理构造。从图 2 中可看出, 它基本可与美国阿巴拉契亚早古生代被动碳酸盐边缘中发育的变密度颗粒流沉积构造进行对比。不同的是, 在岩层中上部, 它缺少由板状碎屑组成的定向构造。这表明在变密度颗粒流搬运中, 曾发生过流动分层转换。在重力作用下, 流体转变成为上部湍流和下部层流, 上

部湍流即浊流形成了正粒序和斜层理、平行层理构造,而下部的纹层状流体就形成逆粒序或无粒序构造^[7,8]。

1.3 沉积物滑动作用

在研究区中沉积物的滑动作用形成了滑积岩。它是在沉积物尚未固结,就在重力作用下发生整体滑动,并在其发展成为沉积物流和碎屑流之前就发生了沉积作用,在沉积物发生整体滑动中,其内部发生着沿许多不连续剪切面进行的相对运动,导致沉积物侧向拉断发生角砾化。因此,不难看出,滑积岩应既具有角砾岩的部分特征,又应保持其原始沉积岩层的特性。它均为碎屑支撑,甚至不发育杂基。该类型沉积物出现在贵阳青岩中三叠世青岩组上部,为下斜坡滑动沉积物。岩石成分为薄层泥晶

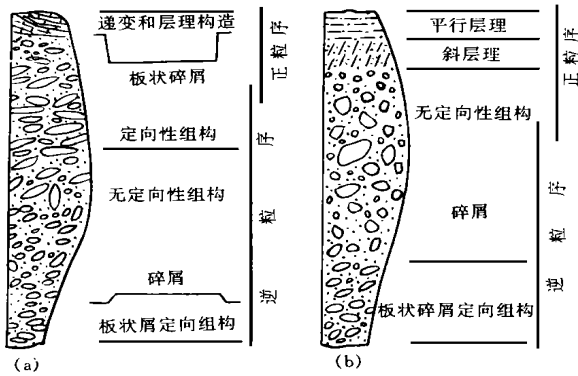


图 2 变密度颗粒流沉积构造对比

- (a) 是阿巴拉契亚早古生代被动边缘 onyx cave 组地层中的变密度颗粒流沉积构造层序, 其层厚为 0.6~2m^[8];
- (b) 是本区早三叠世被动边缘罗楼组和大冶组地层中发育的变密度颗粒流沉积构造, 其层厚 0.5~1.1m

Fig. 2 Comparison of the sedimentary structures of the density-modified grain flow

灰岩, 并较为完整地保持了其原始沉积层特征, 仅发育侧向拉断的角砾化现象。岩体厚 80 cm, 并对下伏薄层状浊积岩进行冲刷。

1.4 浊流沉积

形成颗粒灰岩和泥粒灰岩。颗粒为砂屑和生物碎屑。生物碎屑主要是棘屑、介形虫、有孔虫、藻屑、核形石和双壳类。岩层呈薄层和中层状, 并常对下伏薄层灰岩(泥晶灰岩和浊积灰岩)进行冲刷。它主要具有鲍玛层序 T_{bc}和 T_{ab}组合, 少数具 T_{abcde}完整层序。岩层侧向稳定或变薄尖灭。它主要出现在青岩古通青岩组(T₂¹)和贞丰边阳组(T₂²)地层中, 组成水道堤岸和水道间及盆地平原沉积。

2 深水碳酸盐斜坡沉积模式

上述三叠纪深水碳酸盐沉积作用构成了研究区深水碳酸盐同斜缓坡、沉积型斜坡和跌积型斜坡三种类型沉积模式。

2.1 同斜缓坡沉积模式

是指具有比较均一平缓的斜坡(1~几米/km), 其上的近滨带浅水波浪搅动区向外逐渐进入深水盆地而在斜坡上无明显坡折带^[9]。该沉积模式在研究区早三叠世印度阶早期中发育(图 3a)。其沉积特征层序可以青岩茅谷冲为代表。剖面下部为薄层含泥质条带泥晶灰岩, 发育生物扰动, 具小型沙纹层

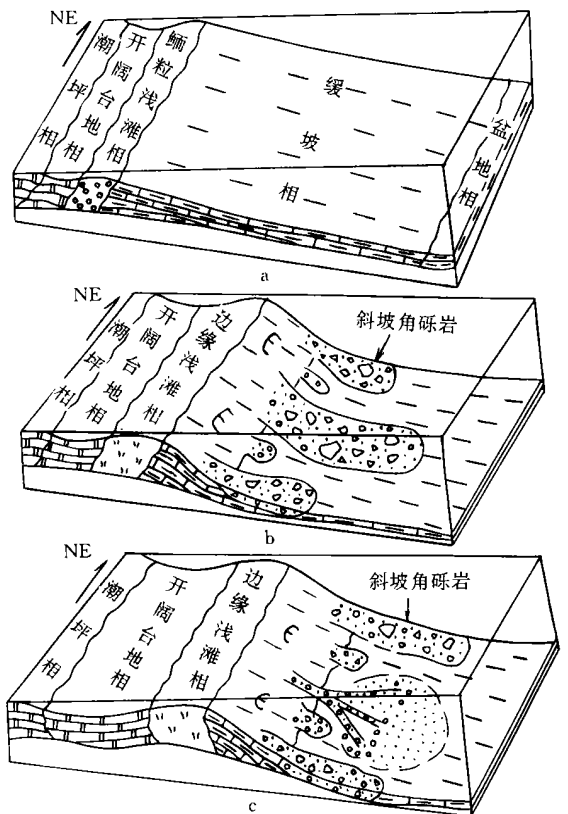


图 3 研究区深水碳酸盐斜坡沉积模式
a. 同斜缓坡; b. 沉积型斜坡; c. 跌积型斜坡

Fig. 3 The deep water sedimentary model of the carbonate slope in the study area

理和水平纹层, 剖面上部为薄层状泥晶灰岩, 并发育一些小型的滑动构造。整个层序未见角砾岩。

2.2 沉积型斜坡沉积模式

形成于碳酸盐产出率大于海平面上升速率的地方。以向上和向外营建以及无高的边缘陡崖为特征。其外部波浪扰动边缘是以坡度明显增加(常由

几度到 45° 或更大) 而进入深水盆地。该沉积模式在黔南桂北早三叠世印度阶晚期及奥伦阶中发育(图 3b), 其沉积特征可以贵阳改毛剖面为代表。斜坡沉积物由碎屑流和变密度颗粒流形成的漂浮砾石灰岩和角砾灰岩及正常原地沉积的薄层泥晶灰岩组成。其中, 漂浮砾石灰岩和角砾灰岩均呈透镜状, 并在层序上发生叠置, 而在侧向上呈断续的孤立分布。其台地边缘是一个呈连续或断续发育的鲕粒浅滩。它与盆地边缘斜坡呈指状交互关系。

2.3 跌积型斜坡沉积模式

该沉积模式在三叠世深水碳酸盐沉积中发育, 其沉积模式见图 3c。按照不同沉积作用特征可将其进一步划分成三种类型, 即阶梯状后退的沟槽跌积型边缘、连续后退的沟槽跌积型边缘和连续后退的陡崖跌积型(图 4)。跌积型斜坡, 通常发育在浅水沉积作用与相对海平面上升保持同步营建的地区, 其台地边缘以迅速向上(Upbuilding)生长为特征, 斜坡坡度超过 $35 \sim 45^\circ$, 多数沉积物将越过上斜坡直接堆积在下斜坡或盆地中^[10,11]。其中沟槽跌积型与陡崖跌积型斜坡的主要区别, 就在于前者斜坡受到了沟槽切割侵蚀并在下斜坡和盆地中发育了灰质浊积扇, 而阶梯状后退的跌积型斜坡与连续后退的跌积型斜坡的主要区别就在于台地边缘的侵蚀后退性质, 前者呈突发性, 而后者则是连续性(图 5)。

(1) 阶梯状后退的沟槽跌积型边缘斜坡 其沉积特征可以贵阳青岩古通剖面青岩组沉积为代表。由下向上由漂浮砾石灰岩和角砾灰岩和薄层浊积灰岩、泥晶灰岩组成的内扇水道—堤岸沉积; 以及由在斜坡裙沉积中形成的中—厚层状漂浮砾石灰岩、角砾灰岩、和发育深水遗迹化石的薄层状泥晶灰岩及浊积泥粒灰岩。并在整个约 200 m 厚的沉积序列中, 间断地出现了四次由粘结礁灰岩构成的巨型角砾岩块(大到 $30\text{m} \times 20\text{m}$), 它是由台缘生物礁经台缘发生崩落塌陷后滚动进入到斜坡中的。根据剖面序列由底向顶具有由内扇向中扇、下扇发生变化的趋势, 表明该台地的边缘在发展中至少发生过四次突发性后退。

(2) 连续后退的沟槽跌积型边缘斜坡 在中三叠世安尼晚期和拉丁早期发育(图 4b)。在贵州青岩、贞丰等地可见到由碎屑流形成的角砾灰岩和由浊流形成的泥粒灰岩组成的内扇、中扇水道沉积。其水道堤岸则是由薄层浊积泥粒灰岩和正常沉积的

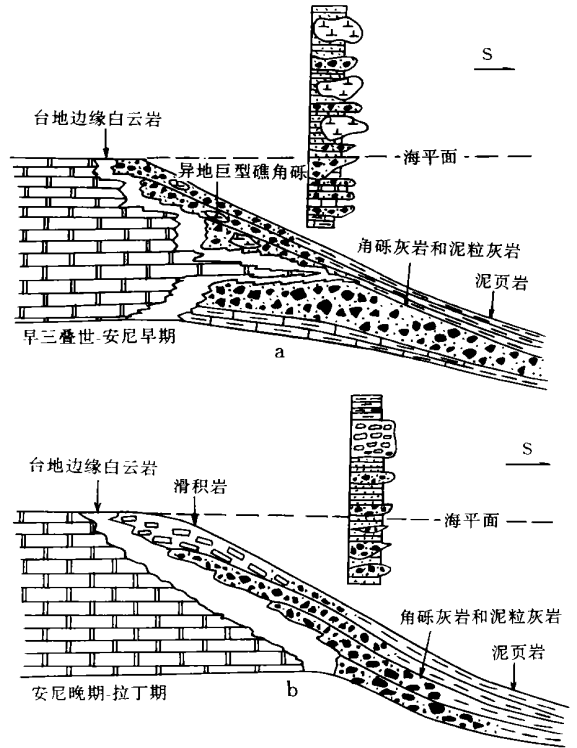


图 4 研究区早中三叠世深水碳酸盐斜坡沉积模式演化
a. 缓坡—一阶梯状后退跌积型斜(安尼早期);
b. 连续后退的跌积型斜坡(安尼晚期—拉丁期)

Fig. 4 The evolution of the sedimentary mode of the early-middle Triassic deep water carbonate slope in the study area

泥晶灰岩组成, 另外, 在贵阳青岩青岩组中还出现了滑积岩沉积。

(3) 连续后退的陡崖跌积型边缘斜坡 在盆地边缘拉丁晚期地层中发育。由碎屑流形成的角砾灰岩和浊积灰岩及原地正常沉积的薄层状泥晶灰岩组成。其中, 角砾灰岩呈席状、透镜状。角砾成分为白云岩、砂屑颗粒灰岩、薄层泥晶灰岩及粘结礁灰岩、珊瑚骨架灰岩。在贵州贞丰一带, 还可见到陆屑浊积岩被上覆角砾灰岩冲刷, 并被卷入到其底部成为碎屑角砾的现象。

3 碳酸盐斜坡沉积模式演化和构造控制

据研究, 全球海平面变化自早三叠世至晚三叠世卡尼期正处于一个长周期的缓慢上升时期^[12], 在此背景下, 在这一时期, 研究区深水碳酸盐斜坡沉积模式演化主要是受构造作用控制。

三叠纪, 研究区在构造上位于南盘江盆地北缘。

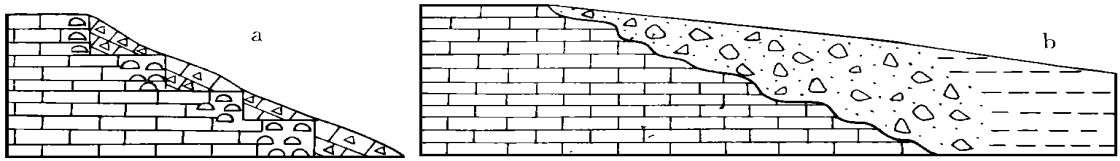


图5 跌积型斜坡中阶梯状后退(a)与连续后退(b)模式示意图

Fig. 5 The schematic diagram showing the stepping retreat (a) and successive retreat (b) modes of the by-pass carbonate slope

据研究^[1,4],南盘江盆地该时期在构造上经历了由早三叠世的被动边缘盆地至中晚三叠世周缘前陆盆地的演化。与此相应,早三叠世贵州贵阳贞丰地区深水碳酸盐沉积作用经历了由缓坡到沉积型斜坡的发展。而在中三叠世,它明显地表现为跌积型斜坡的发展,并经历了从阶梯状后退的沟槽跌积型斜坡→连续后退沟槽跌积型斜坡→连续后退陡崖跌积型斜坡的发展(图4)。早三叠世,盆地处于被动边缘,构造活动较弱,主要表现为盆地的缓慢热收缩沉降。初期,全球海平面在二叠纪下降后又开始了一个长周期的上升,造成了上扬子地区广泛的海侵,并在碎屑陆棚基础上开始发育碳酸盐沉积,表现为以鲕粒碳酸盐为特征的碳酸盐浅滩,在上扬子台地中部重庆合川一带开始生成并逐渐向东进积生长。至印度期末,该鲕粒边缘浅滩在上扬子台地已向东推进至贵阳都拉营一带^[2]。由此,贵州贵阳贞丰地区在早三叠世印度早期碳酸盐沉积作用向东逐渐变深并发展成为碳酸盐缓坡,并于印度期中期,作为台地边缘碳酸盐生产率高而外陆棚环境中沉积物补偿不足的结果,该碳酸盐缓坡演化成为进积的沉积型斜坡。

中三叠世,盆地构造演化发生了重大变化,进入到周缘前陆盆地发展阶段,盆地中构造活动明显增强。中三叠世前渊盆地(即前陆盆地早期发展)发展中,研究区盆地边缘,构造活动主要表现为挠曲引张(Flexural extension)^[13],并随前陆隆起向上扬子台地方向发生迁移。此时,研究区深水碳酸盐斜坡演化主要受该构造活动的控制,表现为后退的跌积型斜坡,而且受挠曲引张活动由强至弱变化的影响,经历了由阶梯状后退到连续后退的演化。

由此可见,研究区深水碳酸盐斜坡沉积演化主要受到了构造作用控制。在早三叠世盆地被动边缘发展阶段,它表现为碳酸盐缓坡至进积的沉积型斜

坡的发展,在中三叠世盆地处于周缘前陆盆地发展中,表现为后退的跌积型碳酸盐斜坡,并经历了由阶梯状后退到连续后退的演化。

鸣谢:在野外工作中,得到了美国 勘萨斯大学 Paul Enos 教授的指导和贵州108地质队魏家庸教授级高级工程师的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 朱忠发. 南盘江盆地海西一印支期沉积构造演化 [J]. 地质学报, 1996, 70: 99 ~ 107
- 2 吴应林, 朱忠发, 王吉礼等. 上扬子台地早、中三叠世岩相古地理及沉积矿产环境控制 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1989. 46 ~ 122
- 3 王吉礼, 王泽文. 上扬子台地三叠系飞仙关组的碳酸盐堡岛 [A], 岩相古地理文集 (1) [C], 北京: 地质出版社, 1985. 154 ~ 165
- 4 吴应林, 朱洪发, 朱忠发等. 中国南方三叠纪岩相古地理与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 30 ~ 97
- 5 Enos P. Flow regimes in debris flow [J]. Sedimentology, 1977, 24: 133 ~ 142
- 6 Lowe D R. Grain flow and grain flow deposits [J]. J. Sed., 1976, 46: 188 ~ 199
- 7 Fisher R V. Flow transformations in sediment gravity flows [J]. Geology, 1983, 11: 273 ~ 274
- 8 Lash G R. Density modified grain flow deposits from an Early Paleozoic margin [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1984, 54: 557 ~ 562
- 9 Read J F. Carbonate platform facies models [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69: 1 ~ 12
- 10 Read J F. Carbonate platforms of Passive (Extensional) Continental Margins: Types Characteristics and Evolution [J]. Tectonophysics, 1982, 81: 195 ~ 212
- 11 Emery D, Myers K J. Sequence stratigraphy [M]. Blackwell Science b, 1996. 211 ~ 238
- 12 Haq B U, Hardenhol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. Science, 1987, 235: 1 156 ~ 1 166
- 13 Bradley D C, Kidd W S F. Flexural extension of the upper continental crust in collisional foredeeps [J]. Geological Society of American Bulletin, 1991, 103: 1 416 ~ 1 438

The Sedimentary Characteristic and Evolution of the Early-Middle Triassic Deep Water Carbonate Slope in Guiyang and Zhengfeng Area, Guizhou Province and Its Tectonic Controls

QIN Jian-hua YAN Yang-ji WU Yin-ling TAN Qin-yin

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, PRC)

Abstract

The excellent outcrops developed in Guiyang and Zhengfeng area, Guizhou Province in early and middle Triassic. In the context of the tectonic setting, Guiyang and Zhengfeng area, Guizhou province, is situated at the northwestern basinal margin of the Nanpanjiang basin in early and middle Triassic. The sedimentary characteristic of the deep-water carbonate developed in this area was made up of in-situ and allochthonous carbonates. Furthermore, the allochthonous carbonates were divided into four types, i. e., debris flow, density-modified grain flow, turbidity and sedimentary slumping.

The in-situ carbonate was characteristic of gray-dark gray thin bedded micritic limestone with the sparse faecal pellets and bioturbated structures indicating the background deposits of the deep water carbonates.

The debris flow deposit was a primary type among the allochthonous carbonates, and composed of the floating brecciola and brecciola.

The turbidity flow deposit primarily possessed the Bouma sequence T_{bc} and T_{ab} , and sparsely the whole sequence of T_{abcd} which occurred in the middle Triassic.

The sedimentary slumping formed the slumping rock. It possessed not only the partial features of the brecciola, but also retained the primitive character with little matrix. It primarily occurred in upper part of the Qinai Formation (middle Triassic) as the thin bedded micritic limestone.

And the deep water carbonate slopes developed into the three kinds of models including homocline ramp, sedimentary slope and by-pass slope. In the context of the eustatic sea level rise in early-middle Triassic epoch, the evolution of the carbonate slope was mainly controlled by the tectonic activity. With the passive margin, development of Nanpanjiang basin in early Triassic, the carbonate slope evolved from the ramp into the prograding sedimentary slope. And in the middle Triassic, accompanying with the development of the peripheral foreland basin, the evolution of the carbonate slope was affected with the flexural extension in the basin. As a result, the carbonate slope developed into the by-pass slope with the evolution from the stepping to successive retreat.

Key words Guiyang and Zhengfeng area Early-Middle Triassic carbonate slope tectonic control