

文章编号:1000-0550(2018)01-0101-09

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0550.2018.012

# 塔中地区晚奥陶世碳酸盐台缘与台内沉积差异 ——定性和定量的碳酸盐岩微相综合分析

付坤荣<sup>1,2</sup>, 黄理力<sup>3</sup>, 祝怡<sup>1</sup>, 冯翔艺蓝<sup>1</sup>, 章巧<sup>1,4</sup>, 关小丽<sup>1</sup>, 高达<sup>1,5</sup>

1. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100
2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083
3. 中国石油杭州地质研究院, 杭州 310023
4. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083
5. 长江大学沉积盆地研究中心, 武汉 430100

**摘要** 为揭示塔中地区东部的晚奥陶世镶边型碳酸盐台地边缘与台地内部的沉积差异, 利用钻井岩芯及薄片资料, 对良里塔格组开展了定性的和定量的碳酸盐岩微相分析研究。研究表明, 台缘—台内沉积区发育9种微相类型(MF1~MF9), 不同颗粒岩类微相所代表的几种颗粒滩具有典型差别的粒度累积频率曲线样式。台地边缘主要发育各种高能颗粒滩的微相组合(MF1~MF4), 与台缘生物礁构成礁滩复合体; 台地内部主要发育代表中—低能的潮坪—潟湖沉积的微相组合(MF5~MF9)。结合定量的粒度分析分析认为生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)、生屑砾屑灰岩微相(MF2)和鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)是冲流带(前滨)环境的产物, 分别代表着台地边缘生屑滩、鲕粒滩和礁前砾屑滩沉积; 球粒颗粒灰岩微相(MF5)为位于受障壁的台地内部、中等能量波浪控制的球粒滩; 棘泥屑粒灰岩—漂浮岩微相(MF4)发育于台缘礁后的中—高能生屑滩。

**关键词** 碳酸盐岩微相; 粒度分析; 台地边缘; 台地内部; 颗粒滩; 良里塔格组

**第一作者简介** 付坤荣, 男, 1995年出生, 硕士研究生, 构造地质学, E-mail: 1024359968@qq.com

**通信作者** 高达, 男, 副教授, E-mail: gaoda18@gmail.com

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

## 0 引言

碳酸盐台地通常具有复杂的沉积构成, 特别是台地边缘与台地内部的交互带往往具有最丰富的沉积组合类型, 这是造成碳酸盐岩储层非均质性的重要因素之一。因此精细揭示台地的沉积特征, 特别是剖析台地边缘与台地内部的沉积差异, 是阐明储层发育机制和预测有利储层分布的重要基础。

塔里木盆地晚奥陶世发育了多个碳酸盐岩台地, 其中位于盆地中部塔中地区的碳酸盐台地边缘呈北西—南东走向, 绵延约200 km<sup>[1]</sup>。晚奥陶世良里塔格组沉积期, 受塔中I号断裂带控制的台地边缘的结构从早期的宽缓型演变为晚期的窄陡型<sup>[2]</sup>, 沉积了厚层的以生物礁、灰泥丘、粒屑滩和滩间海等沉积类型为主的礁、滩复合体, 台地内部主要发育低能潟湖、潮坪及台内滩沉积<sup>[3-4]</sup>。由于良里塔格组台缘礁滩体主要构成了塔中油气田的重要油气产层, 因此前人对本区的研究主要集中在台缘礁滩相沉积特征及有利

储层控制机制方面<sup>[5-8]</sup>, 从微相分析的角度对比台地边缘和台地内部的沉积差异的研究则较少。本文利用塔中地区东部钻井的岩芯和薄片资料, 对塔中地区东部的碳酸盐岩开展定性和定量的微相分析<sup>[9]</sup>, 进而探讨台地边缘和台地内部的沉积差异, 最终建立沉积模式。研究结果对于深化认识塔中地区晚奥陶世台地的精细沉积构成具有重要意义。

## 1 区域地质概况

塔中地区位于塔里木盆地中央隆起带中部, 古生代经历了多期的构造变革(图1)。中奥陶世至早奥陶世早期, 板块周边洋盆缩减、构造背景由弱伸展演变为强烈挤压, 塔中地区显著隆升, 造成早—中奥陶世的碳酸盐岩台地的暴露和剥蚀<sup>[10]</sup>。晚奥陶世海侵使古隆起再次淹没, 在前期的隆起和斜坡之上形成了新的碳酸盐岩台地, 前期的古隆起斜坡边缘即塔中I号断裂带控制了晚奥陶世台地边缘带的发育<sup>[1, 11-12]</sup>。晚奥陶世末期持续的海侵导致碳酸盐台地的淹没, 塔

**收稿日期**: 2016-11-10; **收修改稿日期**: 2017-01-04

**基金项目**: 国家自然科学基金项目(41502104, 41130422); 长江大学大学生创新创业计划项目(2015013); 长江大学长江青年基金项目(2015cqn30) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41502104, 41130422; Program of Innovation and Entrepreneurship for Undergraduates, No. 2015013; the Yangtze Youth Fund, No.2015cqn30]

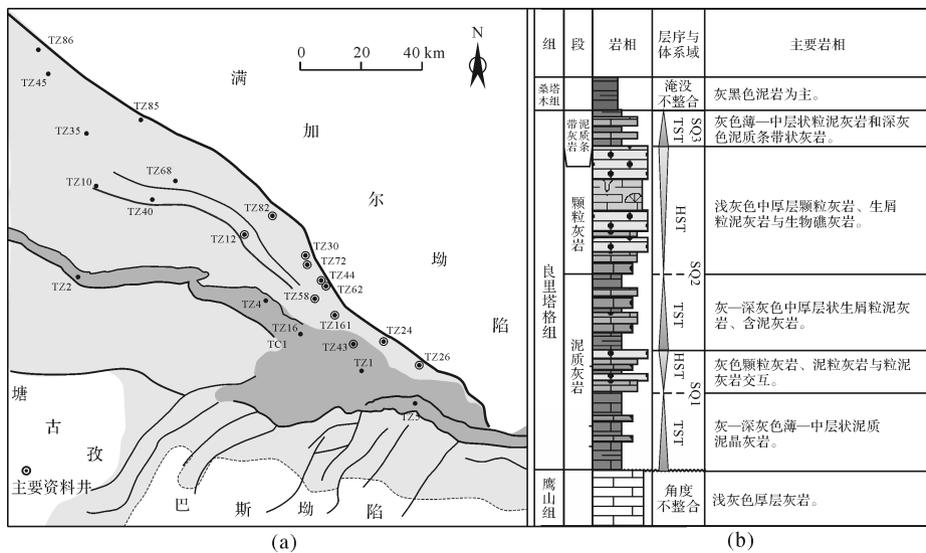


图1 塔中地区构造纲要图(a)与良里塔格组层序划分与岩相特征柱状图(b)

Fig.1 Tectonic framework of Tazhong area (a) and sequence stratigraphy and lithofacies of the Lianglitage Formation (b)

中地区沉积环境转变为深水陆棚—盆地<sup>[11]</sup>。

上奥陶统良里塔格组被限定在下部的角度不整合与上部的淹没不整合之间,沉积时限为 4.8 Ma,沉积厚度约 120~880 m。主要依据钻井资料可将良里塔格组分为 3 个三级层序(SQ1、SQ2 和 SQ3)<sup>[8,11]</sup>。SQ1 主要发育薄—中层泥晶灰岩、含泥泥晶灰岩与粒灰岩的岩相组合;SQ2 主要发育各种颗粒灰岩、生物灰岩、泥粒灰岩与粒泥灰岩的岩相组合;SQ3 主要发育含泥质条带的粒泥灰岩、泥粒灰岩与泥晶灰岩岩相组合。

## 2 微相分析

根据 8 口钻井的约 100 个薄片的观察分析,识别出晚奥陶世塔中碳酸盐台地东区的 9 种微相类型(MF1~MF9,详见图 2、图 3),这些微相类型分别能与 Flügel<sup>[9]</sup>修订的镶边碳酸盐台地的 26 种标准微相类型(SMF1~SMF26)中的 9 种有良好的对应。它们的特征描述与环境解释分述如下:

### 2.1 生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)

描述:颗粒支撑,颗粒含量>70%,颗粒间为亮晶方解石胶结。颗粒分选较好,磨圆度高,粒径主要分布在 0.2~0.5 mm。颗粒类型以生物碎屑和砂屑为主,其次为少量核形石(粒径 1~2 mm)和鲕粒。砂屑粒径主要集中在 0.2~0.4 mm,包括暗色泥晶构成的球度较高的内碎屑或球粒;生物碎屑约占颗粒的 40%~60%不等,生物类型以钙藻、双壳、棘皮动物的碎屑为主,磨圆度为次圆状,表面多具泥晶套(图 2a,

b)。相当于标准微相 SMF11。

解释:较高的颗粒含量、较好的分选和磨圆程度共同反映持续高能的水动力,较高的生物碎屑含量指示临近生物礁,沉积环境为台地边缘高能颗粒滩。

### 2.2 生屑砾屑灰岩微相(MF2)

描述:颗粒支撑,颗粒含量>60%,粒间为亮晶方解石胶结。颗粒分选中等,磨圆度为次圆状,粒径主要分布在 0.5~2 mm,其中超过 2 mm 的颗粒占 40%,故为砾屑灰岩(Rudstone)。颗粒类型主要为保存程度不一的生物骨粒(通常 1~2 mm),类型包括棘皮(主要为海百合碎屑)、钙藻(完整个体较多,粒径 2~5 mm)、苔藓虫(保存较好)、和少量双壳碎片。少部分生物碎屑见较薄泥晶套。生物骨粒间可见少量较小的球粒和内碎屑(0.2~0.3 mm)(图 2c,d)。相当于标准微相 SMF6。

解释:较高的颗粒含量、较粗的粒径与不含泥晶基质反映受强烈的波浪和潮汐作用影响的持续高能水动力背景,保存较好的生物骨粒含量较高指示紧临生物礁,泥晶套欠发育反映快速的沉积速率,沉积环境应为台地边缘礁前砾屑滩。

### 2.3 鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)

描述:颗粒支撑,颗粒含量>70%,粒间为亮晶方解石胶结。颗粒分选极好,圆度较高,粒径主要分布在 0.4~0.6 mm。绝大多数颗粒为鲕粒(真鲕为主,偶见复鲕),鲕粒核心多为粒度不等的球粒,圈层为切向排列的文石所形成,圈层数量多大于 2。局部亦可

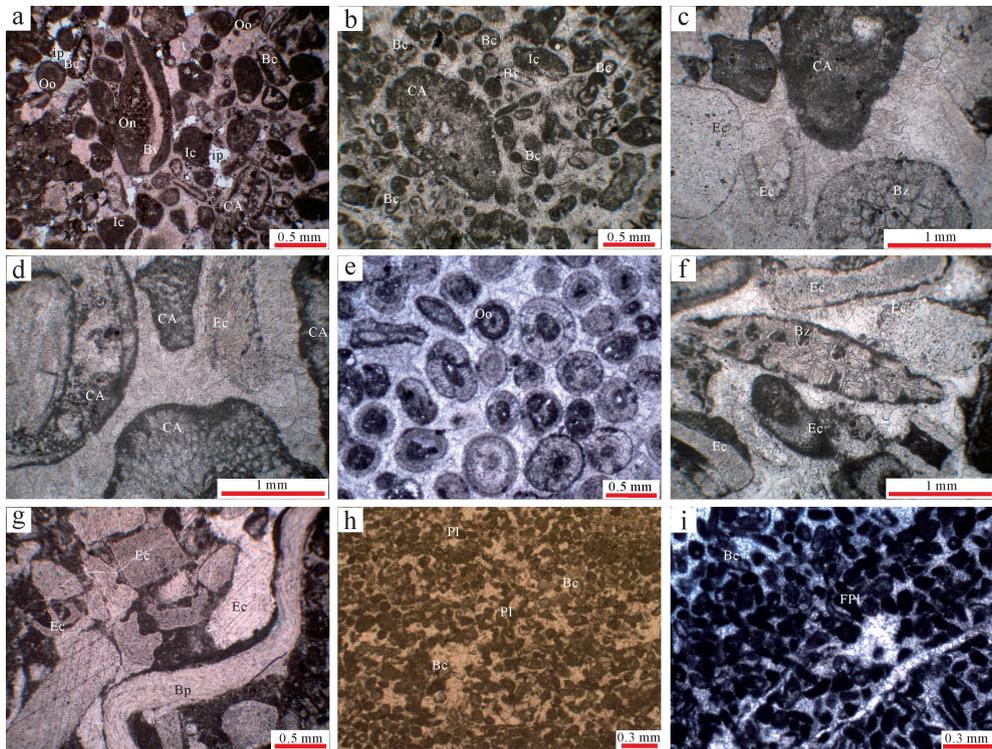


图 2 塔中地区良里塔格组典型微相 (MF1~MF5) 镜下照片

a. 生屑—砂屑颗粒灰岩微相 (MF1), 许多生屑发育泥晶套较难辨认生物类型, 与砂屑接近, 塔中 83 井, 5 123.0 m; b. 生屑—砂屑颗粒灰岩微相 (MF1), 塔中 72 井, 5 040.3 m; c. 生屑砾屑颗粒灰岩微相 (MF2), 塔中 24 井, 4 689.8 m; d. 生屑砾屑颗粒灰岩微相 (MF2), 塔中 24 井, 4 689.8 m; e. 鲕粒颗粒灰岩微相 (MF3), 塔中 30 井, 5 100.8 m; f. 棘屑颗粒灰岩微相 (MF4), 局部粒间为亮晶, 塔中 72 井, 4 972.5 m; g. 棘屑颗粒灰岩微相 (MF4), 局部粒间为泥晶, 塔中 72 井, 4 972.5 m; h. 球粒颗粒灰岩微相 (MF5), 零星生物碎屑, 塔中 162 井, 4 593 m; i. 球粒颗粒灰岩微相 (MF5), 主要为粪球粒, 中 4 井, 4 910 m。BC. 生物碎屑; Bp. 腕足; Bv. 双壳; BZ. 苔藓虫; CA. 钙藻; Ec. 棘皮; FPl. 粪球粒; Ic. 内碎屑; ip. 粒间孔; On. 核形石; Oo. 鲕粒; Pl. 球粒

Fig.2 Thin-section photos of typical microfacies (MF1~MF5) of the Lianglitage Formation, Tazhong area

见少量球粒, 极少见生物化石 (图 2e)。相当于标准微相 SMF15-C。

解释: 分选极好的切向鲕粒反映受强烈波浪和潮汐作用影响的持续高能水动力背景和快速的沉积速率, 极少见化石表明沉积环境中较少发育生物且远离生物礁, 沉积环境为台地边缘高能鲕粒滩。

#### 2.4 棘屑泥粒灰岩—漂浮岩微相 (MF4)

描述: 颗粒支撑, 颗粒含量 >70%, 粒间部分为亮晶方解石胶结物、部分为泥晶基质。颗粒分选中等—较差, 磨圆度主要为次圆—次棱, 粒径主要分布在 0.3~1 mm, 其次为 2~10 mm 的颗粒 (约占 10%) 漂浮在泥粒灰岩基质。颗粒类型主要为保存程度中等的生物骨粒, 以棘皮为主 (主要为海百合碎片), 其次为钙藻碎屑、苔藓虫 (保存较好) 和腹足碎屑、介形碎屑。颗粒还包括细小的球粒、偶见核形石 (图 2f, g)。相当于标准微相 SMF12-CRIN。

解释: 分选和磨圆程度不高、包含泥晶基质与球

粒表明未受持续稳定水动力影响, 生物碎屑较粗的粒度表明与高能相带毗邻, 较高的生物碎屑含量、丰富的生物类型和指示沉积于生物礁附近, 沉积环境为台地边缘生物礁后中—高能生屑滩。

#### 2.5 球粒颗粒灰岩微相 (MF5)

描述: 颗粒支撑, 颗粒含量 >60%, 粒间为亮晶方解石胶结。颗粒分选好, 磨圆度为次圆状至圆状或椭圆状, 粒径主要分布在 0.1~0.2 mm。颗粒类型主要为球粒及粪球粒, 其次为泥晶化程度较高的细小的生物碎屑, 包括腹足类和棘皮类生物 (图 2h, i)。相当于标准微相 SMF16-无纹层。

解释: 较细的颗粒、较好的分选和磨圆程度代表持续稳定的中等强度的水动力, 沉积环境位于受台地边缘礁和滩坝所障壁的台地内部颗粒滩。

#### 2.6 钙藻屑粒泥—泥粒灰岩 (MF6)

描述: 颗粒支撑, 颗粒含量 >50%, 粒间主要为泥晶基质。颗粒分选差, 粒径主要分布在 0.05~0.2

mm。颗粒大多为生屑,以钙藻碎屑为主(如蠕孔藻、密孔藻、绒枝藻等),其次为少量棘皮碎屑和介形虫(图3a)。相当于标准微相SMF18。

解释:生屑间泥晶基质的存在表明受波浪和潮汐影响较弱,以底栖的钙藻为主的生物类型表明位于受障壁的台地内部,沉积环境为位于正常浪基面以下台地内部潟湖。

### 2.7 珊瑚障积岩—生屑粒泥灰岩微相(MF7)

描述:主要为保存较完整的各种生物泥晶基质构成,生物类型主要为四分珊瑚、介形虫、钙藻、苔藓虫,少量腹足、腕足、三叶虫,其中珊瑚、苔藓虫、钙藻、腕足、腹足个体较大,可达1~5 mm,珊瑚、腹足和介形虫体腔内部分为亮晶方解石充填,生物间均为泥晶基质。珊瑚、苔藓虫和钙藻主要起到障积灰泥的作用,相当于标准微相SMF7-BAFFLESTONE。另有一些薄片显示的生物类型相同,但生物碎屑散布在泥晶基质中,为生屑粒泥灰岩(图3b,c)。

解释:保存较完整的和较大个体的生物化石、大量的泥晶基质共同指示沉积于正常浪基面以下的较低水动力环境中,该微相的沉积环境解释为台地内部局部发育的障积礁及邻近的低能水体中。

### 2.8 黏结岩与黏结状球粒泥灰岩微相(MF8)

描述:由暗色的、大小不等的球粒(0.1~0.3 mm)、泥晶和亮晶组成,球粒的含量不等,极少见生物化石,均发育窗格孔和鸟眼孔构造故定名为黏结岩或

黏结状泥粒灰岩。多数鸟眼孔内可见细粒的亮晶胶结物环边,部分孔内可见渗流粉砂充填(图3d,e)。相当于标准微相SMF21-FEN。

解释:窗格孔、鸟眼孔、渗流粉砂和环边状胶结物共同指示间歇性暴露的环境,该微相为是典型的潮坪环境产物,主要沉积在潮间带—潮上带。

### 2.9 薄层含泥灰岩(MF9)

描述:主要由泥晶构成,可见黏土质纹层和细粉砂质陆源碎屑,生物化石极少(图3f)。与标准微相SMF1接近。

解释:沉积于水循环局限、浪基面以下、水动力低、深水的台内洼地环境。

## 3 高能颗粒滩微相的粒度分析

在定性的微相分析基础上,对几种反映高能颗粒滩的微相类型(MF1, MF2, MF3 和 MF5)开展了基于薄片图像的粒度分析。选取了13个薄片样品,每个样品逐一量取300~400个点,并对薄片量取的粒度使用弗里德曼提出的公式( $\phi_1 = \phi_2 \times 0.902^7 + 0.3815$ )<sup>[13]</sup>进行校正,对校正后的结果分别制作粒度累积曲线和概率累积曲线,图像叠加后显示,相同微相粒度曲线重合度高,分别选取4个样品代表以上4种微相的粒度分析图叠加如图4。同时,根据福克和沃德提出的方法<sup>[14]</sup>计算了粒度参数,计算公式和结果见表1。

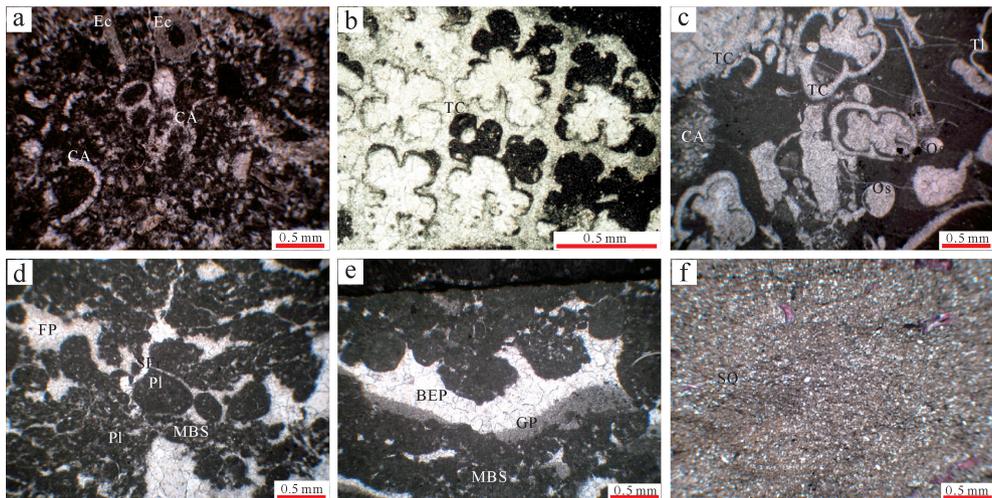


图3 塔中地区良里塔格组典型微相(MF6~MF9)镜下照片

a. 钙藻屑粒泥—泥粒灰岩微相(MF6),主要为绒枝藻,塔中72井,5 000.5 m; b. 珊瑚障积岩微相(MF7),四分珊瑚个体完整,塔中30井,5 046.0 m; c. 珊瑚障积岩—生屑粒泥灰岩微相(MF7),塔中30井,5 046.0 m; d. 黏结岩与黏结状球粒泥灰岩微相(MF8),塔中83井,5 182.0 m; e. 黏结岩与黏结状球粒泥灰岩微相(MF8),塔中83井,5 175.5 m; f. 薄层含泥灰岩(MF9),含粉砂级石英碎屑,塔中30井,4 868.4 m。BEP.鸟眼孔;CA.钙藻;Ec.棘皮;FP.窗格孔;GP.示顶底构造;MBS.微生物黏结构造;OS.介形虫;PI.球粒;SFr.收缩裂缝;SQ.细粉砂级石英碎屑;TC.四分珊瑚;TI.三叶虫

Fig.3 Thin-section photos of typical microfacies (MF6~MF9) of the Lianglitage Formation, Tazhong area

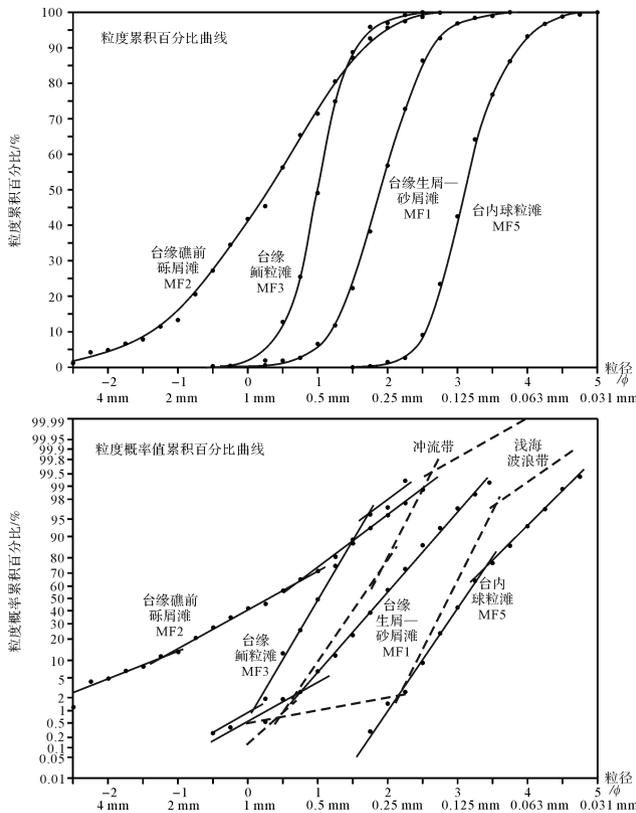


图4 塔中地区良里塔格组颗粒滩典型微相的粒度分析图  
冲刷带、浅海波浪带的概率累积百分比曲线(虚线)引自 Visher<sup>[15]</sup>

Fig.4 Grain-size analysis of typical microfacies of shoal deposits of the Lianglitage Formation, Tazhong area

### 3.1 粒度分析图像

从累积百分比曲线来看:总体各曲线均呈现“S”形,其中生屑砾屑灰岩微相(MF2)的粒度范围略宽、曲线最缓,生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)的粒度范围较窄、曲线较陡,鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)和球粒颗粒灰岩微相(MF5)的粒度范围最窄、曲线最陡。从绝对粒径值范围来看,从大到小依次为MF2、MF3、MF1和MF5,与薄片的观察一致。

从概率累积百分比曲线来看:生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)包含两个斜率明显不同的粒度次总体,粗尾部分即滚动次总体占2%~10%,跳跃组斜率较大;生屑砾屑灰岩微相(MF2)总体上斜率较小,滚动次总体约占到10%~15%,其余为跳跃次总体,无悬浮组分;鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)表现为明显的三段式,主体位于中部的较高斜率的跳跃次总体,滚动次总体<2%,悬浮次总体<5%;球粒颗粒灰岩微相(MF5)仅包含斜率较大的跳跃次总体和中等斜率的悬浮次总体,悬浮次总体占20%~30%。

### 3.2 粒度参数

从计算的各个样品的粒度参数统计表明,各微相之间,平均粒径和中值差别较明显,偏度和尖度(峰度)十分接近,标准差(分选系数)有一定差别。单个样品的平均粒径和中值十分接近,以平均粒径为例来看,生屑砾屑灰岩微相(MF2)的平均粒径最大,范围为0.57~1.11mm(极粗—粗砂),平均粒径平均值为0.84mm;鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)的平均粒径其次,为0.5mm(粗—中砂);生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)平均粒径再次,范围为0.21~0.29mm(中—细砂),平均粒径平均值为0.25mm;球粒颗粒灰岩微相(MF5)的平均粒径最小,范围为0.1~0.12mm(细砂),平均值为0.11mm。从标准差数据来看,鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)的标准差为0.42,分选好;其次为球粒颗粒灰岩微相(MF5)标准差范围为0.46~0.54,平均值为0.48,分选好—较好;生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)标准差范围为0.58~0.80,平均值为0.66,分选中等—较好;生屑砾屑灰岩微相(MF2)标准差范围为0.67~1.17,平均值为0.96,分选较差—中等。从偏度数据来看,各样品的偏度值均介于-0.1~0.1之间,频率曲线近于对称,其中生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)具有轻微负偏(-0.08~0.01),存在粗尾

表1 塔中地区良里塔格组颗粒滩典型微相的粒度参数

Table 1 Grain-size analysis indexes of typical microfacies of shoal deposits of the Lianglitage Formation, Tazhong area

微相	样品数	平均粒径( $M$ )/mm	中值粒径( $Md$ )/mm	标准差( $\sigma\phi$ )	偏度( $Sk$ )	峰度( $Kg$ )
MF1	5	0.21~0.29(0.25)	0.22~0.28(0.24)	0.58~0.80(0.66)	-0.08~-0.01(-0.05)	1.01~1.13(1.06)
MF2	3	0.57~1.11(0.84)	0.57~1.21(0.85)	0.67~1.17(0.96)	-0.04~0.18(-0.01)	0.96~1.07(1.00)
MF3	1	0.50	0.50	0.42	-0.02	1.12
MF5	4	0.10~0.12(0.11)	0.10~0.12(0.11)	0.46~0.54(0.48)	-0.08~0.15(0.02)	1.05~1.15(1.09)
全部	13	0.1~1.11(0.36)	0.1~1.21(0.36)	0.41~1.17(0.66)	-0.15~0.18(-0.01)	0.96~1.15(1.06)

注:括号内为平均值,  $Md = \phi_{50}$ ;  $M = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$ ;  $\sigma\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$ ;

$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 - \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$ ;  $Kg = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

缺乏细尾;球粒颗粒灰岩微相(MF5)具有轻微的正偏(-0.08~0.15),存在细尾缺乏粗尾。从峰度来看,大多数样品介于0.90~1.11之间,曲线中等,粒度分布为典型正态分布,个别样品(如鲕粒颗粒灰岩)的峰度略大于1.11,曲线尖锐。

## 4 讨论

### 4.1 台地边缘与台地内部微相组合的差异

微相分析表明,晚奥陶世塔中地区碳酸盐岩台地的台缘沉积与台内沉积的微相组合差异明显,与典型的镶边型碳酸盐台地的沉积相组合相似,微相分布即沉积模式见图5。MF1~MF4代表着台地边缘高能颗粒滩沉积的微相类型,除鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)以外,均包含相当含量的生物骨粒(占颗粒含量的40%以上)。其中的生物组合类型主要为钙藻、棘皮、苔藓虫等,与前人识别的台缘生物礁的生物群落接近<sup>[2,16-17]</sup>。表明这些滩体主要发育在临近台地边缘生物礁的区域,生物砾屑灰岩(MF2)是典型的礁前砾屑滩沉积,棘屑泥粒灰岩—浮岩微相(MF4)则是典型礁后生屑滩沉积,不同类型颗粒滩与生物礁垂向上叠置、横向上交互共同构成了台缘礁滩复合体。薄片未揭示到发育良好的台缘礁,可能与台地东部边缘以断控型台缘有关<sup>[3,18]</sup>,该背景不利于生物礁的大规模生长,因此主要发育各种类型的台缘滩。台缘礁滩体在地震剖面上主要表现为波状—丘状外形、弱连续和中等—强振幅的地震反射特征,与斜坡和台内沉积明显区分,指示明显加积和前积礁滩体沉积,且良里塔格组沉积中—晚期是礁体建造的主要时期(图6)。高达等<sup>[8]</sup>,Gao *et al.*<sup>[19]</sup>利用台缘钻井较连续的取芯和

薄片资料,总结了高频层序内台缘礁滩复合体的典型相序,陈轩等<sup>[3]</sup>和王振宇等<sup>[4]</sup>对礁滩体的发育模式及孔隙分布开展过细致的分析。受高频海平面升降变化的影响,高能颗粒滩的储集物性通常优于生物礁<sup>[8,17,20-21]</sup>。因此,对于台缘滩的精细的微相分析还需要进一步加强。

MF5~MF9代表着受台缘礁滩复合体障壁的广阔的台地内部发育的各种沉积类型。其中球粒颗粒灰岩微相(MF5)是发育于台地内部、受中等能量的波浪持续扰动形成的台内滩沉积,其发育可能受控于台内的高地貌带<sup>[12,22]</sup>。钙藻屑粒泥—泥粒灰岩微相(MF6)以发育不同含量的、类型较为单一的底栖的钙藻生物为主,结合相当比例的泥晶基质的存在,代表台地内部中—低能的沉积水动力<sup>[9]</sup>;大量发育四分珊瑚、苔藓虫、钙藻、介形虫、腹足、腕足等生物的珊瑚障积岩—生屑粒泥灰岩微相(MF7)则是良里塔格组常见的台内礁或台内丘沉积<sup>[16]</sup>;以黏结构造为特征的MF8是典型的潮坪沉积;薄层的含泥灰岩(MF9)主要发育于台内较深水潟湖沉积。台地内部的各种沉积在地震剖面上主要表现为以平行—亚平行、中等—强连续性和中等振幅的地震反射特征为主,局部可见小规模丘状反射,指示台地内部以潟湖—潮坪沉积为主,局部发育小型点礁(图6)。高达等<sup>[8]</sup>,Gao *et al.*<sup>[19]</sup>总结了良里塔格组台内潟湖—潮坪沉积微相组合的典型相序。

### 4.2 台缘滩与台内滩的差异

在精细的微相分析基础上,可以将良里塔格组的台缘滩划分为生屑—砂屑滩(MF1)、礁前砾屑滩(MF2)、鲕粒滩(MF3)和礁后生屑滩(MF4);台内滩

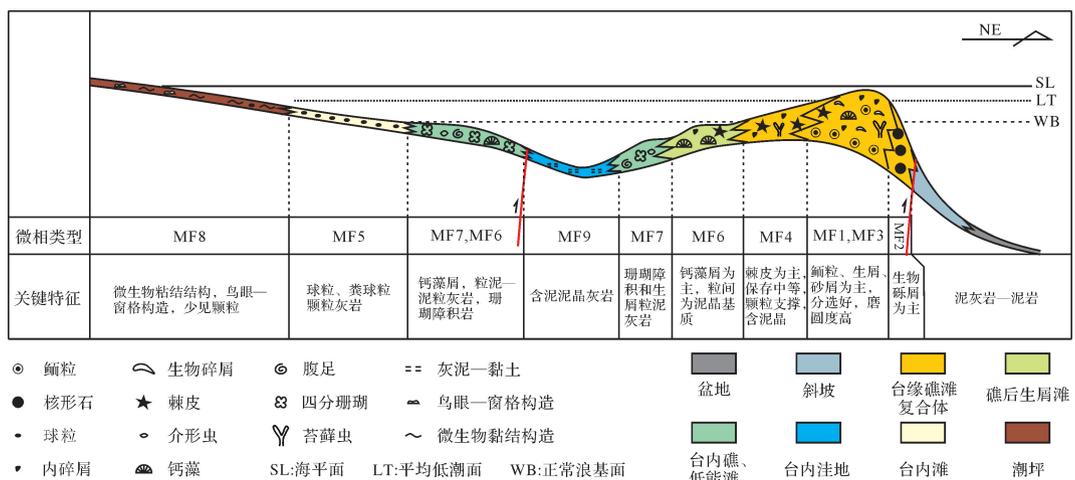


图5 塔中地区东部晚奥陶世镶边型碳酸盐岩台地沉积模式剖面图

Fig.5 Depositional model for the Late Ordovician carbonate rimmed-platform, eastern Tazhong area

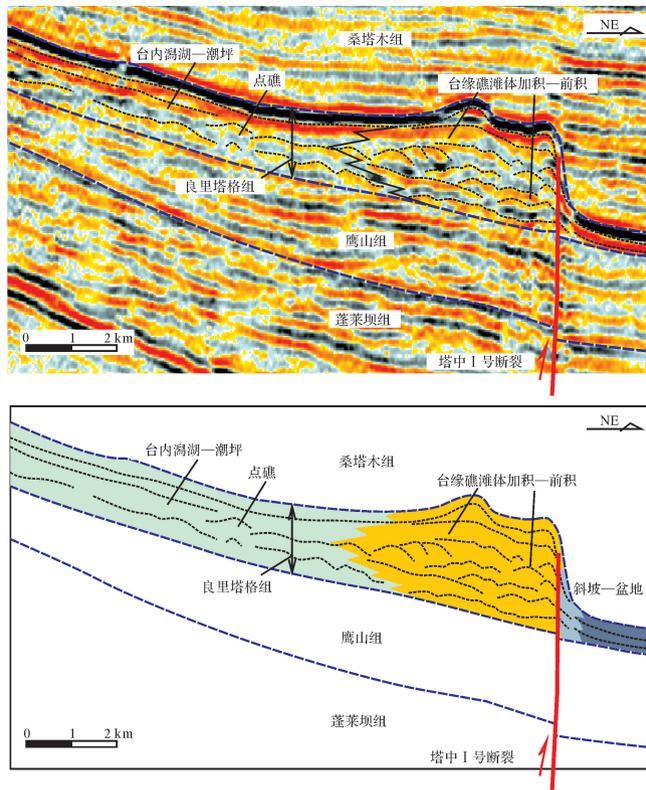


图6 塔中地区晚奥陶世镶边型碳酸盐岩台地地震剖面的沉积解释

Fig.6 Facies interpretation based on the 3-D seismic profile of the Late Ordovician carbonate rimmed-platform in the Tazhong area

则主要为球粒滩(MF5)。定量的粒度分析所得到的平均粒径大小、悬浮组分的比例能直接反映水动力的强弱。砾屑滩(MF2)的沉积水动力最强,其次为鲕粒滩(MF3)和生屑—砂屑滩(MF1),而台内球粒滩(MF5)的粒度最细并且含有较多的悬浮组分,因此沉积水动力相对最弱。将概率曲线与维谢尔的典型环境粒度概率图对比不难发现,鲕粒滩(MF3)和生屑—砂屑滩(MF1)的概率曲线与冲流带环境(前滨)的概率曲线十分相似,均包含分选中等的少量滚动组分、主体为分选很好的跳跃组分。礁前砾屑滩(MF2)概率曲线中主体跳跃组分的斜率小于典型冲流带环境的跳跃组分的斜率,但是这种较小的斜率可能与薄片粒度分析是以计量不同粒度区间颗粒的数目百分比而非重量百分比有关,分析认为其沉积水动力与冲流带亦十分接近,结合大量生物化石的存在,认为该微相发育于具有明显正向隆起的台缘礁前带。塔中地区良里塔格组台缘滩的纵横向的分布特征及组合模式见参考文献[5]。台内球粒滩(MF5)的概率曲线

与 Visher<sup>[15]</sup> 的典型浅海波浪带砂的粒径范围和分选十分接近,不同的是该微相缺乏分选较差的粗尾部分、且细尾悬浮部分比例较大,反映其沉积于受障壁的台地内部局限海,受中等能量的波浪扰动。这种台内滩可能受控于台地内部的局部构造高部位,晚奥陶世塔中地区发育多组断层,台缘的塔中 I 号断裂带控制了台缘礁滩相的发育分布,台内的断隆如中央隆起带附近为台内滩发育的有利场所<sup>[12,22]</sup>(图5)。

## 5 结论

定性的微相分析表明,塔中地区东部晚奥陶世碳酸盐岩台地边缘与台地内部主要发育9种微相类型,微相划分均在 Flügel<sup>[9]</sup> 修订的镶边碳酸盐台地的26种标准微相类型(SMF1~SMF26)中有对应,分别指示特定的沉积微环境。

台地边缘主要发育生屑砂屑颗粒灰岩微相(MF1)、生屑砾屑灰岩微相(MF2)、鲕粒颗粒灰岩微相(MF3)和棘屑泥粒灰岩—漂浮岩微相(MF4),它们与生物礁交互构成台缘礁滩复合体;台地内部主要发育球粒颗粒灰岩微相(MF5)、钙藻粒泥—泥粒灰岩(MF6)、珊瑚障积岩—生屑粒泥灰岩(MF7)、黏结岩与黏结状球粒泥粒灰岩微相(MF8)和薄层含泥灰岩微相(MF9),解释为潟湖—潮坪沉积。

基于颗粒滩的定性和定量的微相分析,将台缘滩划分为生屑—砂屑滩(MF1)、礁前砾屑滩(MF2)、鲕粒滩(MF3)和礁后生屑滩(MF4),台内滩则主要为球粒滩(MF5)。粒度曲线表明4种颗粒滩的颗粒灰岩在平均粒径、分选性、滚动—跳跃—悬浮次总体的含量方面均明显区别。台缘滩的沉积水动力背景与前滨带接近,台内滩的沉积水动力表现为中等能量的波浪扰动,指示发育于受障壁的台地内部。

## 参考文献 (References)

- [1] 林畅松,杨海军,蔡振中,等. 塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩台地的层序结构演化及其对盆地过程的响应[J]. 沉积学报,2013,31(5):907-919. [Lin Changsong, Yang Haijun, Cai Zhenzhong, et al. Evolution of depositional architecture of the Ordovician carbonate platform in the Tarim Basin and its response to basin processes[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 907-919.]
- [2] 顾家裕,张兴阳,罗平,等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):277-283. [Gu Jiayu, Zhang Xingyang, Luo Ping, et al. Development characteristics of organic reef-bank complex on Ordovician carbonate platform margin in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 277-283.]

- [3] 陈轩,赵宗举,张宝民,等.塔里木盆地塔中孤立台地北缘上奥陶统良里塔格组精细沉积建模[J].沉积学报,2009,27(5):1002-1011. [Chen Xuan, Zhao Zongju, Zhang Baoming, et al. Delicately sedimentary model to Lianglitage Formation of upper Ordovician in the northern margin of isolated platform in the center of Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 1002-1011.]
- [4] 王振宇,孙崇浩,杨海军,等.塔中I号坡折带上奥陶统台缘礁滩复合体建造模式[J].地质学报,2010,84(4):546-552. [Wang Zhenyu, Sun Chonghao, Yang Haijun, et al. Formation pattern of upper Ordovician reef-bank complex along the Tazhong Slopebreak I, Tarim Block, NW China[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(4): 546-552.]
- [5] 陶夏妍,王振宇,范鹏,等.塔中地区良里塔格组台缘颗粒滩沉积特征及分布规律[J].沉积学报,2014,32(2):354-364. [Tao Xiayan, Wang Zhenyu, Fan Peng, et al. The depositional features and distribution regularities of marginal platform grain shoals of Lianglitage Formation in Tazhong area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(2): 354-364.]
- [6] 屈海洲,王振宇,张正红,等.塔中地区晚奥陶世镶边台地沉积演化[J].沉积学报,2014,32(5):823-831. [Qu Haizhou, Wang Zhenyu, Zhang Zhenghong, et al. Characteristics and evolution of sedimentary facies in the rimmed platform, upper Ordovician, Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(5): 823-831.]
- [7] 屈海洲,王振宇,张云峰,等.塔中超深层奥陶系礁滩相碳酸盐岩优质储集层成因[J].新疆石油地质,2013,34(2):169-173. [Qu Haizhou, Wang Zhenyu, Zhang Yunfeng, et al. Genesis of high-quality reservoir in ultra-deep and reef-bank carbonate rocks of Ordovician in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(2): 169-173.]
- [8] 高达,林畅松,杨海军,等.塔中地区良里塔格组沉积微相及其对有利储层的控制[J].地球科学,2013,38(4):819-831. [Gao Da, Lin Changsong, Yang Haijun, et al. Microfacies of late Ordovician Lianglitage Formation and their control on favorable reservoir in Tazhong area[J]. Earth Science, 2013, 38(4): 819-831.]
- [9] Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application[M]. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010: 984.
- [10] 林畅松,李思田,刘景彦,等.塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化[J].岩石学报,2011,27(1):210-218. [Lin Changsong, Li Sitian, Liu Jingyan, et al. Tectonic framework and paleogeographic evolution of the Tarim Basin during the Paleozoic major evolutionary stages[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 210-218.]
- [11] Yang X F, Lin C S, Yang H J, et al. Depositional architecture of the late Ordovician drowned carbonate platform margin and its responses to sea-level fluctuation in the northern slope of the Tazhong region, Tarim Basin[J]. Petroleum Science, 2010, 7(3): 323-336.
- [12] 彭莉,刘小平,林畅松,等.塔中隆起晚奥陶世古地貌及其沉积相特征[J].石油地球物理勘探,2009,44(6):767-772. [Peng Li, Liu Xiaoping, Lin Changsong, et al. Late Ordovician Palaeogeomorphology and its sedimentary facies characteristics in central Tarim Uplift[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(6): 767-772.]
- [13] Friedman G M. Comparison of moment measures for sieving and thin-section data in sedimentary petrological studies[J]. Journal of Sedimentary Research, 1962, 32(1): 15-25.
- [14] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3-26.
- [15] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal of Sedimentary Research, 1969, 39(3): 1074-1106.
- [16] 王建坡,马璐,张园园,等.塔里木板块塔中区上奥陶统良里塔格组的生物礁类型[J].微体古生物学报,2013,30(3):228-238. [Wang Jianpo, Ma Lu, Zhang Yuanyuan, et al. Reef types of the upper Ordovician Lianglitage Formation in the central high, Tarim Block, NW China[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2013, 30(3): 228-238.]
- [17] 韩剑发,孙崇浩,于红枫,等.塔中I号坡折带奥陶系礁滩复合体发育动力学及其控储机制[J].岩石学报,2011,27(3):845-856. [Han Jianfa, Sun Chonghao, Yu Hongfeng, et al. Kinetics of reef-shoal complexes and its restriction to reservoir in Ordovician from Tazhong I Fault belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 845-856.]
- [18] 何碧竹,焦存礼,王生朗,等.塔里木盆地塔中地区上奥陶统近环带状台地边缘相带特征及勘探前景[J].地质学报,2009,83(7):1039-1046. [He Bizhu, Jiao Cunli, Wang Shenglang, et al. Characteristics and exploration prospect of carbonate platform margin of late Ordovician Lianglitage Formation in the Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(7): 1039-1046.]
- [19] Gao D, Lin C S, Yang H J, et al. Microfacies and depositional environments of the late Ordovician Lianglitage Formation at the Tazhong uplift in the Tarim Basin of northwest China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 83: 1-12.
- [20] 屈海洲,王振宇,杨海军,等.礁滩相碳酸盐岩岩溶作用及其对孔隙分布的控制:以塔中东部上奥陶统良里塔格组为例[J].石油勘探与开发,2013,40(5):552-558. [Qu Haizhou, Wang Zhenyu, Yang Haijun, et al. Karstification of reef-bank facies carbonate rock and its control on pore distribution: A case study of upper Ordovician Lianglitage Formation in eastern Tazhong area, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(5): 552-558.]
- [21] 高达,林畅松,胡明毅,等.利用自然伽马能谱测井识别碳酸盐岩高频层序:以塔里木盆地塔中地区T1井良里塔格组为例[J].沉积学报,2016,34(4):707-715. [Gao Da, Lin Changsong, Hu Mingyi, et al. Using spectral gamma ray log to recognize high-frequency sequences in carbonate strata: A case study from the Lianglitage Formation from Well T1 in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(4): 707-715.]
- [22] 刘延莉,樊太亮,薛艳梅,等.塔里木盆地塔中地区中、上奥陶

统生物礁滩特征及储集体预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 562-565. [Liu Yanli, Fan Tailiang, Xue Yanmei, et al. Distribution of the middle-late Ordovician reef bank reservoir in central

Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 562-565.]

## The Depositional Diversity between Platform Margin and Platform Interior on the Late Ordovician Carbonate Rimmed-platform of Tazhong Area: A case study of qualitative and quantitative integrated microfacies analysis

FU KunRong<sup>1,2</sup>, HUANG LiLi<sup>3</sup>, ZHU Yi<sup>1</sup>, FENG XiangYiLan<sup>1</sup>, ZHANG Qiao<sup>1,4</sup>, GUAN XiaoLi<sup>1</sup>, GAO Da<sup>1,5</sup>

1. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

3. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, Hangzhou 310023, China

4. School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

5. Basin Analysis Center, Yangtze University, Wuhan 430100, China

**Abstract:** In order to reveal the deposition diversity between platform margin and platform interior on the Late Ordovician carbonate rimmed platform of Tazhong area, we made an integrated microfacies analysis from both qualitative and quantitative aspects by using core and thin section data of the Lianglitage Formation. The result show that nine types of microfacies (MF1~MF9) can be recognized, and each type of the grainstones which represents different type of carbonate sand shoals has distinct shape of grain-size accumulation curves. The platform margin is composed of several types of microfacies (MF1~MF4) indicating high-energy sand shoals that form reef-shoal complex together with platform margin reefs. The platform interior is composed of these types of microfacies (MF5~MF9) that representing medium- to low- energy lagoon and tidal flat deposits. Combining with the quantitative grain-size analysis results, these microfacies including bioclast intraclast grainstone (MF1), bioclast rudstone (MF2) and ooid grainstone (MF3) were deposited in foreshore environment, respectively indicating platform margin bioclast sand shoals, ooid sand shoals, and reef-front gravel shoals. The peloid grainstone (MF5) was deposited in the barrier platform interior that was dominated by moderate wave energy. The enchinoid packstone and floatstone (MF4) was deposited just at the back of platform reef forming bioclast sand shoal.

**Key words:** carbonate microfacies analysis; grain-size analysis; platform margin; platform interior; carbonate sand shoal; Lianglitage Formation