

文章编号: 1000-0550(2010) 05-1020-17

广西来宾铁桥剖面中上二叠统沉积微相¹

邱 振 王清晨

(中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室 北京 100029)

摘 要 对广西来宾铁桥剖面中二叠统茅口组和上二叠统吴家坪组进行了详细的沉积相研究, 共识别出 4 个沉积相和 10 个微相, 分别为: 盆地相(含层状硅质岩微相、含透镜状灰岩的层状硅质岩微相)、下斜坡相(含与灰岩互层的层状硅质岩微相、夹层状硅质岩的灰岩微相、浊流沉积的灰岩微相)、上斜坡相(含夹硅质条带或薄层的灰岩微相、夹硅质团块或条带灰岩微相、灰岩微相、碎屑流等重力流沉积的灰岩微相)和台地边缘相(钙质海绵礁灰岩微相)。野外观测表明, 茅口组和吴家坪组各为一个向上变浅的沉积旋回, 但两个旋回的演化具有明显的差异, 茅口组整体上是盆地相向斜坡相演化的过程, 以发育浊流、碎屑流等重力流沉积为特征, 而吴家坪组是由盆地相到斜坡相至台地边缘相, 再到斜坡相的演化过程, 沉积微相变化频繁。该剖面的沉积微相交替记录了海平面变化过程, 表现为茅口期持续下降, 吴家坪早期快速上升, 中期逐步下降, 晚期又升高的特征。

关键词 沉积微相 中上二叠统 海平面变化 来宾 铁桥剖面

第一作者简介 邱振 男 1977 年出生 博士 沉积学

通信作者 王清晨 E-mail qcwang@mail.iggcas.ac.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

中晚二叠世过渡时期, 全球发生了一系列的环境变化, 如二级海平面下降^[1, 2], 生物灭绝^[3, 4, 5]等, 与此同时, 我国西南地区发生了大规模地峨眉山玄武岩喷发^[6, 7, 8], 对这一时期沉积环境也产生巨大影响^[8, 9]。因此, 对这该时期沉积环境变化的研究具有重要意义。

广西来宾铁桥剖面是国际二叠系瓜德鲁普统与乐平统界线层型剖面(蓬莱滩剖面)的辅助剖面^[10, 11], 发育了较完整的中上二叠世地层^[12]。前人对铁桥剖面已从沉积学^[12-16]、古生物^[12, 15-22]、地球化学^[12, 16, 23]等方面开展了大量的研究工作。需要指出的是, 对这一地区中上二叠世的海平面变化却存在两种不同的认识。沙庆安等^[12]对铁桥剖面的沉积相研究表明, 由中二叠统茅口组至上二叠统吴家坪组的沉积相自底向上依次划分为盆地相、盆地边缘相、台缘斜坡相、台缘生物岩礁相和礁后潟湖相, 指示海平面的逐渐下降过程, 与全球其它区域的海平面变化^[24, 25]一致。然而, 后来许多学者从层序地层学角度对本区的研究却反映出海平面先下降后上升变化趋势^[14, 21, 26]。针对这一认识上的矛盾, 本文作者对铁桥剖面沉积相进行了再研究, 于 2008 年至 2010 年间

对铁桥剖面茅口组和吴家坪组进行了野外观察和微相划分, 试图对解决上述矛盾提出我们的资料。

欣闻沉积学报为庆祝刘宝珺院士从事地质工作 60 周年暨 80 华诞出版此沉积学专辑, 我们能应邀藉此良机发表拙作, 甚感荣幸。30 多年前, 作者之一(王清晨)刚刚步入沉积学大门, 曾有幸与刘先生一起参加沉积学野外考察, 学习沉积相的野外观察方法, 刘先生的教诲使学生受益匪浅。谨以此文作为向先生的工作汇报, 并表达我们对刘先生的由衷敬意。

1 地质背景与剖面位置

中晚二叠世时期, 广西来宾位于滇黔桂盆地(右江盆地)东部^[27-30](图 1A)。滇黔桂盆地自泥盆纪以来, 断裂活动发育^[31-38], 逐渐形成了“台—盆”相间的古地理格局(图 1A), 而来宾地区处于台地与深水盆地的过渡区^[27-29, 37, 39]。

蓬莱滩剖面是瓜德鲁普统与乐平统国际界线层型剖面(GSSP)^[10, 11], 铁桥剖面为其辅助剖面^[10, 11, 23], 这两条剖面分别位于来宾向斜的东翼和西翼(图 1B), 沿红水河两岸出露。在铁桥剖面(GPS: N23°42'36", E109°14'05"), 中二叠统茅口组和上二叠统吴家坪组岩层沿红水河北岸出露较全。

¹ 科技部国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2005CB422101)和国家科技重大专项课题(编号: 2008ZX05008-01)资助。
收稿日期: 2010-05-20 收修改稿日期: 2010-08-05 <http://www.cnki.net>

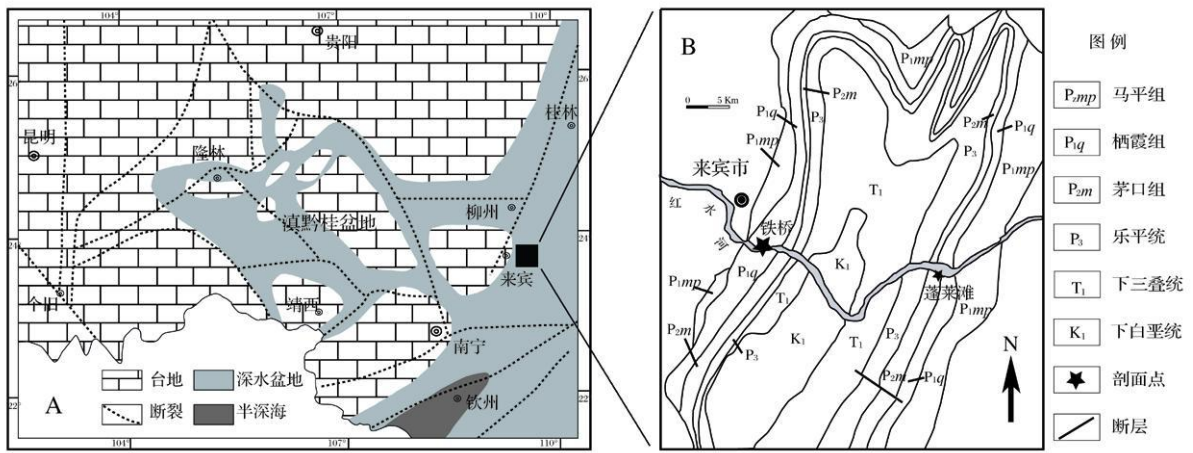


图 1 地质背景与剖面位置

A. 来宾中二叠世古地理位置 (据梅冥相等 [28] 修改); B. 铁桥剖面位置 (据 Wang 等 [23] 修改)

Fig 1 Geological setting and location of the study section

表 1 沉积微相及沉积环境

Table 1 Microfacies and Sedimentary environment

沉积相	微相代号	微相类型	岩石结构	沉积特征描述	生物颗粒及非生物颗粒	沉积环境解释
盆地相	1a	层状硅质岩		灰色—深灰色, 单层厚 5~15 cm	放射虫、海绵骨针	深水盆地
	1b	含透镜状灰岩的层状硅质岩	泥质灰岩	硅质岩呈灰色—深灰色, 单层厚 10~20 cm; 灰岩呈透镜体产出, 灰色—深灰色	灰岩: 放射虫、浮游有孔虫、硅质岩: 放射虫、浮游有孔虫	深水盆地
下斜坡相	2a	与层状硅质岩互层的灰岩	泥质灰岩颗粒泥质灰岩	两者均为灰色。灰岩单层厚 10~30 cm, 局部发育正粒序层理及准同生变形滑动构造; 硅质岩 10~20 cm, 局部发育水平层理	灰岩: 海百合茎、双壳类、放射虫、浮游有孔虫、介形虫、内碎屑、似球粒硅质岩: 放射虫、浮游有孔虫	盆地边缘—斜坡下部
	2b	夹层状硅质岩的灰岩	颗粒质泥灰岩 泥质颗粒灰岩	两者均为灰色。灰岩单层厚 20~40 cm, 局部发育正粒序层理; 硅质岩 10~15 cm	灰岩: 海百合茎、放射虫、浮游有孔虫、介形虫、内碎屑、似球粒、核形石硅质岩: 放射虫、浮游有孔虫、介形虫	盆地边缘—斜坡下部
	2c	浊流沉积的灰岩	泥质颗粒灰岩—砾屑颗粒灰岩	灰色, 层状及呈长条透镜状, 发育正粒序层理, 单层厚 3~6 cm	海百合茎等	盆地边缘—斜坡下部
上斜坡相	3a	夹硅质条带或薄层的灰岩	泥质颗粒灰岩	灰岩呈浅灰色, 单层厚 40~80 cm; 硅质岩为灰色, 呈条带或薄层夹于灰岩之中	灰岩: 钙质海绵、藻类、海百合茎、腕足类、内碎屑、似球粒、核形石 硅质岩: 放射虫	斜坡上部
	3b	夹硅质团块或条带的灰岩	颗粒质泥灰岩 泥质颗粒灰岩	灰岩呈灰色, 单层厚 40~100 cm; 硅质岩呈团块或条带夹于灰岩之中	灰岩: 珊瑚、海百合茎、筴、钙质海绵、藻类、腕足类、腹足类、双壳类、内碎屑	斜坡上部
	3c	厚层灰岩	泥质颗粒灰岩 颗粒灰岩 砾屑灰岩	灰岩呈浅灰色—灰色, 单层厚 50~150 cm, 局部发育准同生变形的滑动构造, 常夹碎屑流、浊流等重力流沉积透镜体	海百合茎、筴、钙质海绵、藻类、腕足类、珊瑚、腹足类、双壳类、内碎屑、似球粒	斜坡上部
	3d	碎屑流等重力流沉积的灰岩	砾屑灰岩 砂屑灰岩 泥质颗粒灰岩 颗粒灰岩	碎屑流沉积单层厚 100~150 cm, 为砂—砾屑灰岩, 局部夹硅质团块; 浊流沉积单层厚 10~30 cm, 为泥质颗粒灰岩—颗粒灰岩, 发育正粒序层理。两者均呈透镜体分布	海百合茎、腕足类等	斜坡上部
台地边缘相	4	钙质海绵礁灰岩	粘结灰岩、骨架灰岩	灰岩为浅灰色, 呈块状	钙质海绵、藻类、海百合茎等	台地边缘礁

2 研究方法

首先对铁桥剖面茅口组和吴家坪组进行野外观测,依据所出现的岩石类型及其组合关系、沉积构造、古生物等资料进行岩相分析,并采集样品 170 件。然后在室内对样品进行详细的薄片观察,半定量地统计各类生物颗粒及非生物颗粒的含量,结合野外观测资料,进行沉积微相分析,给予沉积环境解释。前人对此一剖面进行古生物学及其年代学研究资料^[12-15]对我们的沉积微相研究提供了极大的帮助。

3 沉积相分析

我们在来宾铁桥剖面中二叠统茅口组和上二叠统吴家坪组中共识别出 4 种沉积相及 10 种沉积微相(表 1),具体描述和解释如下:

3.1 盆地相

共分为两个微相:层状硅质岩微相和含透镜状灰

岩的层状硅质岩微相。

3.1.1 层状硅质岩微相(1a)

描述

由中薄层硅质岩组成。单层厚一般 5~15 cm,灰色—深灰色,风化面呈土黄色。硅质岩主要矿物为微晶石英,含大量的放射虫和海绵骨针^[15]。

解释

硅质岩呈中薄层,含大量的放射虫和钙质海绵骨针,是深水环境的标志^[15-40-41],一般被解释为深水盆地的沉积,因此将其解释为盆地相。

3.1.2 含透镜状灰岩的层状硅质岩微相(1b)

描述

由含透镜状泥灰岩的中薄层的硅质岩组成。单层厚一般 10~20 cm,灰色—深灰色,风化面呈褐黄色或土黄色(图 2a-2b)。硅质岩主要矿物为微晶石英,含少量放射虫(图 2c)。泥质灰岩呈透镜体分布于层状硅质岩中(图 2b),灰色—深灰色,含极少或少

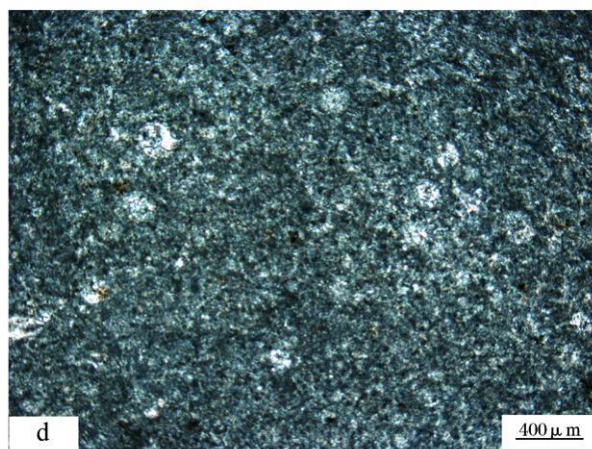
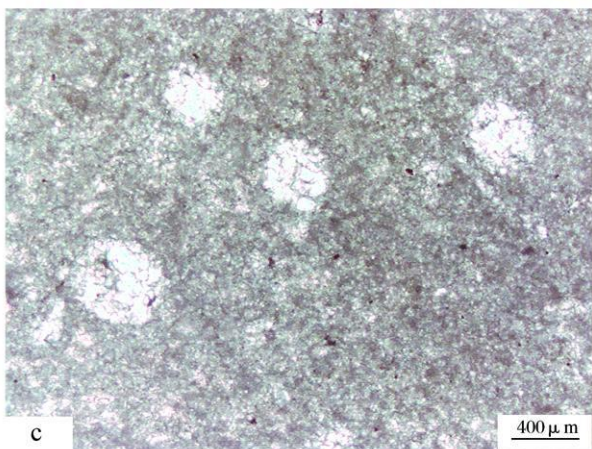


图 2 含透镜状灰岩的层状硅质岩微相

a b 硅质岩夹泥灰岩透镜体; c 硅质岩含少量放射虫,单偏光; d 含放射虫的泥灰岩,单偏光

Fig. 2 Microfacies of bedded chert with lensoidal limestone

量放射虫(图 2d)及浮游有孔虫。

解释

硅质岩呈中薄层, 含少量放射虫, 几乎不含任何浅水的生物化石, 它们都是沉积于深水环境的重要标志^[16 41]。而且所夹的灰岩透镜体均为泥质灰岩, 仅含少量放射虫和极少量的浮游有孔虫。这些都属于深水盆地的沉积特征^[41], 因此将其归为盆地相。

3.2 下斜坡相

含三个微相, 即: 与灰岩互层的层状硅质岩微相、夹层状硅质岩的灰岩微相、浊流沉积的灰岩微相。其中浊流沉积的灰岩作为事件沉积产物, 本文将其作为一种微相单独划分。

3.2.1 与层状硅质岩互层的灰岩微相(2a)

描述

由互层沉积的灰色中薄层硅质岩与灰色中薄层泥质灰岩—颗粒质泥灰岩(图 3a)组成。灰岩单层厚一般 10~ 30 cm, 局部厚者可达 40 cm 以上, 薄者小于

5 cm。泥质灰岩中含少量的介形虫、放射虫、浮游有孔虫等生物(图 3b)颗粒及少量的内碎屑、似球粒等非生物颗粒; 颗粒质泥灰岩中含少量海百合、少量的双壳类、浮游有孔虫、放射虫、介形虫等生物碎屑, 并含少量似球粒、内碎屑等颗粒(图 3c)。硅质岩主要由微晶石英组成, 单层厚一般为 10~ 20 cm, 局部发育水平层理。含较少或少量放射虫、浮游有孔虫等生物(图 3d)。

解释

泥质灰岩—颗粒质泥灰岩粒径一般不超过 0.5 mm, 且分选较差(图 3c), 所含的放射虫、浮游有孔虫、介形虫等生物都指示其沉积于水体相对较深的环境^[40~42]。与之互层的中薄层硅质岩含少量放射虫, 局部发育水平层理等也指示其形成于较深水的环境^[40~42]。本微相常与发育滑动构造和正粒序层理的浊流沉积互层, 指示其形成于斜坡的深水部位^[42]。综合以上特征, 将此微相解释为下斜坡相。

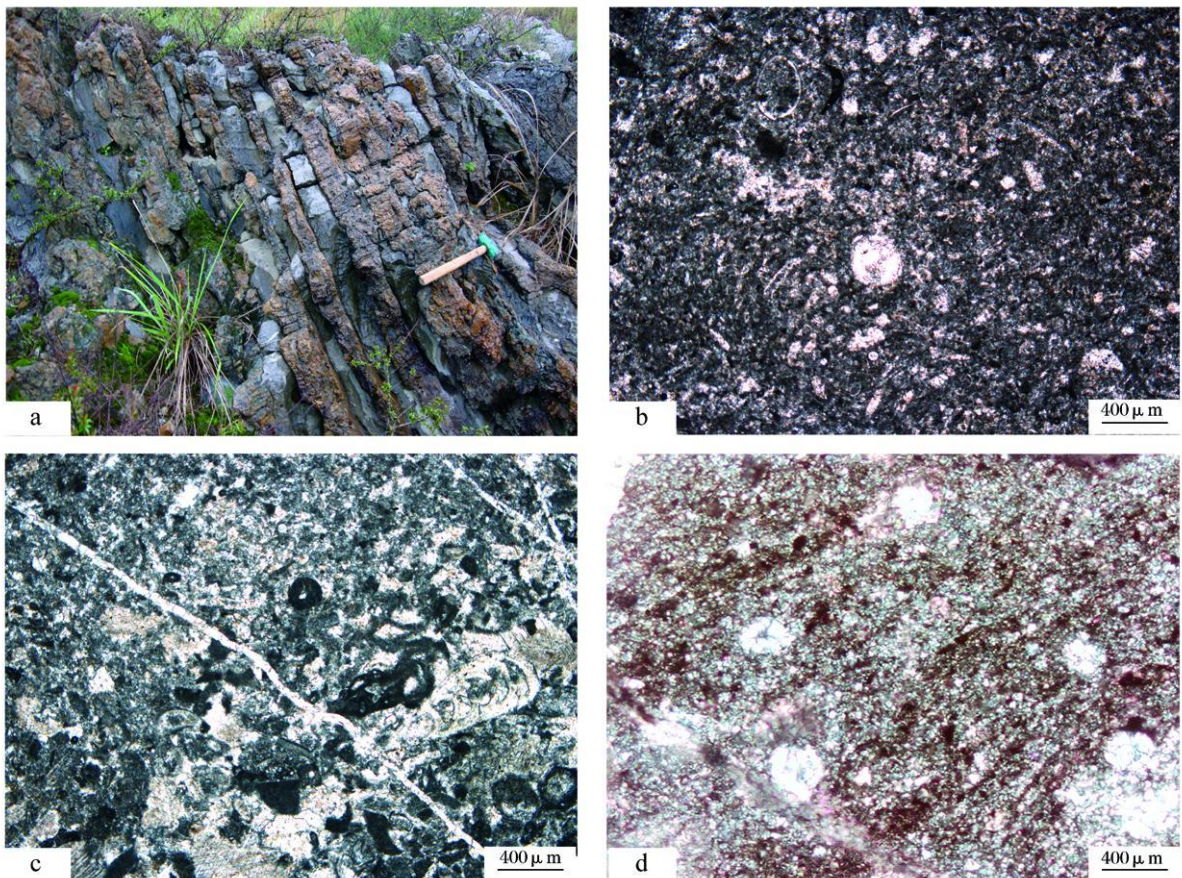


图 3 与层状硅质岩互层的灰岩微相

- a 与层状硅质岩互层的灰岩; b 为含介形虫、放射虫的颗粒质泥灰岩, 单偏光;
c 为含海百合碎片、内碎屑等的颗粒质泥灰岩, 单偏光; d 为含放射虫的硅质岩, 正交偏光

Fig 3 M irofacies of limestone interbedded by bedded chert

3 2 2 夹层状硅质岩的灰岩微相 (2b)

由灰色中层颗粒质泥灰岩—泥质颗粒灰岩夹灰色中薄层硅质岩组成。灰岩单层厚一般 20~ 40 cm, 局部厚者可达 50 cm 以上, 薄者小于 10 cm。灰岩中少量海百合、少量的放射虫、浮游有孔虫、介形虫等生物碎屑, 并含少量内碎屑、少量的似球粒与核形石等颗粒。

硅质岩主要由微晶石英组成, 单层厚一般为 10

~ 15 cm。含较少或少量放射虫、有孔虫、介形虫等生物碎屑。

解释

本微相所含的颗粒种类与微相 2a 基本相同, 局部也与发育粒序层理的浊流沉积互层, 而且与微相 2a 相邻出现。与之不同的是本微相的灰岩岩层增厚, 且颗粒含量相对增加, 指示其沉积的水体深度可能稍微浅些, 但仍为深水沉积。因此也将本微相解释

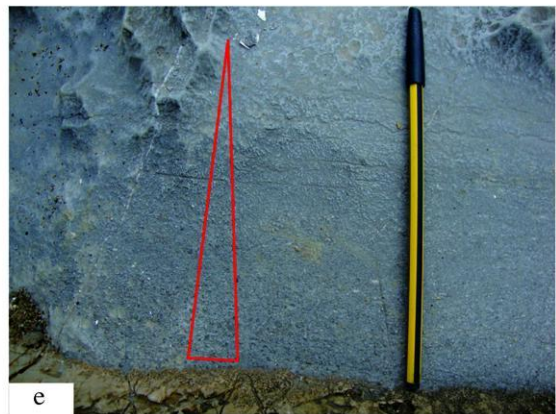
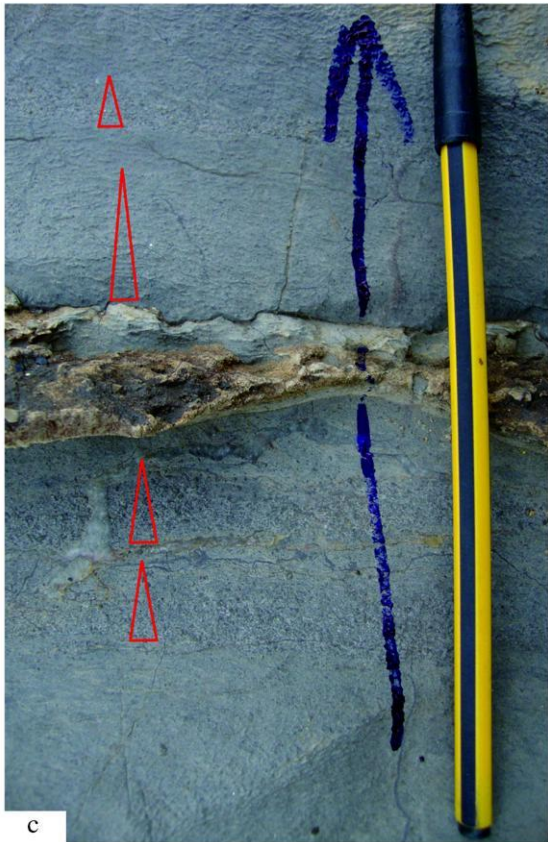
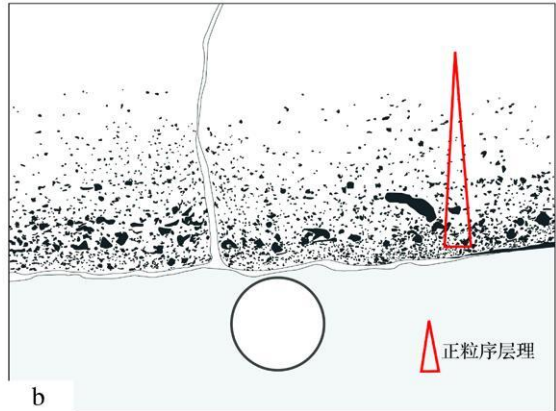


图 4 浊流沉积的灰岩微相

a 为发育正粒序层理的灰岩, 底部较粗颗粒主要为海百合茎碎片及内碎屑等组成; b 为素描图; c 发育多个正粒序层理的灰岩; d 为硅质岩上下均发育正粒序层理; e 硅质岩之上发育的正粒序层理

Fig 4. Microfacies of limestone deposited by turbidity current

为下斜坡相。

3.2.3 浊流沉积的灰岩微相 (2c)

描述

本微相主要出现在茅口组中上部,多呈层状或长透镜状分布,发育正粒序层理(图 4a 与 4b),底部发育微弱的侵蚀面,伴随沉积于上述微相 2a 和 2b 中。粒序层厚一般 3~6 m,厚者可达 10 m 以上,组分主要为以海百合茎碎片为主的生物碎屑及内碎屑。在茅口组中上部可以观察到此微相重复叠置,在 20 m 厚的灰岩层内可出现几次(图 4c)。

此微相常伴随硅质岩出现,位于硅质岩上下层位中(图 4d e)。

解释

正粒序层理是鉴别浊流沉积的重要标志^[43],单个的正粒序层理就可以代表一次浊流沉积事件^[44 45]。此微相的重复叠置表明浊流沉积事件高频发生。浊流沉积中的海百合茎等浅水生物碎屑、内碎屑表明是从相对浅水的部位(台地边缘或上斜坡)搬运来的。

浊流沉积单层厚度为厘米级,横向延伸也不远,

且侵蚀面微弱,表明浊流能量不大,可能指示本区当时沉积坡度较缓。而浊流沉积伴随硅质岩出现的现象也指示了其沉积在盆地边缘及下斜坡环境中。

3.3 上斜坡相

可识别出四个微相:夹硅质条带或薄层的灰岩微相、夹硅质团块或条带灰岩微相、灰岩微相和碎屑流等重力流沉积的灰岩微相。其中碎屑流等重力流沉积的灰岩作为事件沉积产物,本文将作为一种微相单独划分。

3.3.1 夹硅质条带或薄层的灰岩微相 (3a)

描述

由浅灰色的厚层泥质颗粒灰岩组成(图 5a),夹硅质条带或硅质薄层。灰岩单层厚一般为 40~80 cm,厚者可达 100 cm 以上。含少量钙质海绵(图 5b)、藻类(图 5c)、海百合茎、腕足类等生物碎屑及少量内碎屑、核形石、似球粒等颗粒。硅质岩主要由微晶石英组成,含少量放射虫(图 5d)。

解释

灰岩单层较厚,并呈浅灰色,含钙质海绵、藻类、海百合茎等浅水生物碎屑,这些都指示本微相形成于

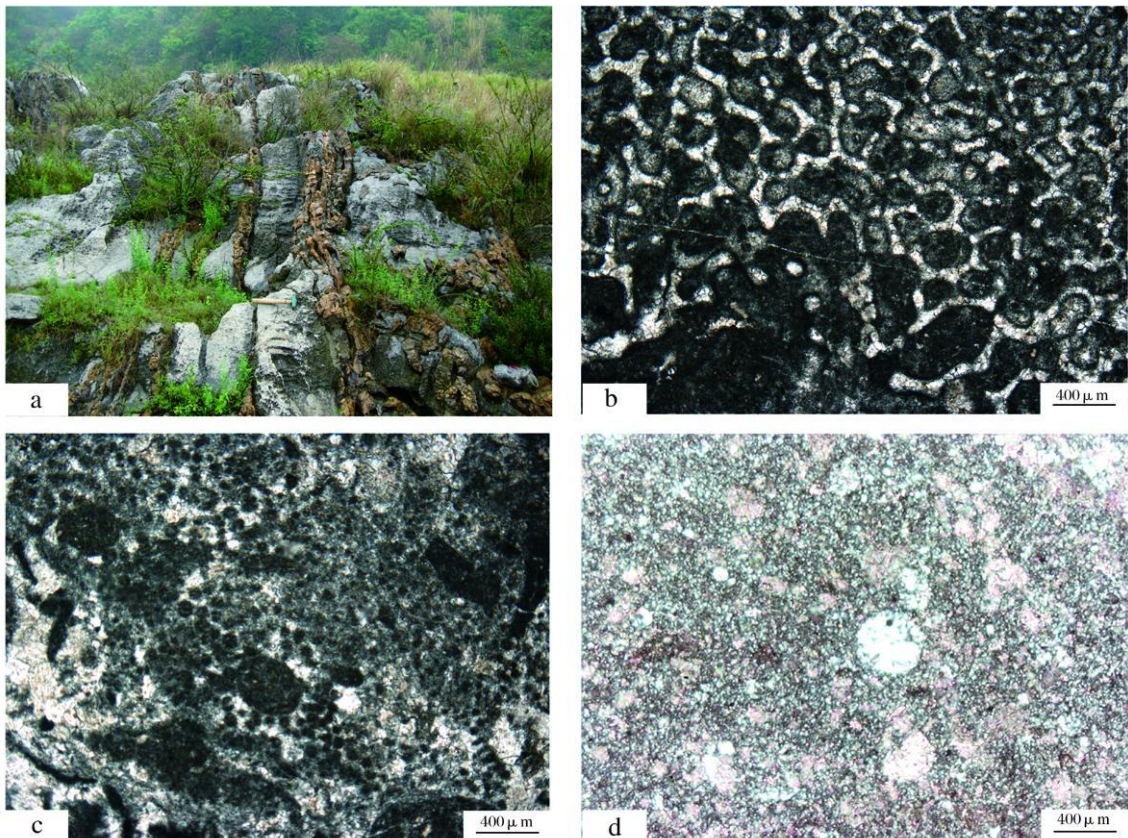


图 5 夹硅质条带或薄层的灰岩微相

a 为夹硅质薄层及条带的灰岩; b 为钙质海绵; c 为藻类斑点,单偏光; d 含放射虫的硅质岩,正交光

Fig. 5. Microfacies of limestone intercalated by bedded or lensoid chert

水体偏浅的水体。由于该微相所含的钙质海绵、藻类等相对偏少,而且所夹的硅质岩中含放射虫,并没有形成具有骨架支撑的海绵礁丘^[46,47]。考虑到本微相常与代表台地边缘礁的钙质海绵礁灰岩微相(微相 4 见 3.4.1 节)相伴产出,依据 Walthers 相律,将其解释为紧邻台地边缘的上斜坡环境的沉积产物。

3.3.2 夹硅质团块或条带灰岩微相(3b)

描述

由灰色中厚层颗粒质泥灰岩—泥质颗粒灰岩(图 6a, b)组成,夹硅质团块或条带。灰岩单层厚一般为 40~100 cm,厚者可达 150 cm,薄者小于 20 cm。富含海百合茎、筳、珊瑚、腕足类、钙质海绵、藻类、腹

足类、双壳类等生物化石,并含少量内碎屑等颗粒。硅质团块或条带顺层分布,局部层内分布,主要由微晶石英组成,含较少生物碎屑。

解释

本微相灰岩单层较厚,含海百合、珊瑚、筳、钙质海绵及藻类等大量浅水生物化石,其中珊瑚块体基本是垂直岩层面分布(图 6c, d),具原地生长的特征,生物碎屑基本都是浅水的,保存相对完整(图 6e),指示其几乎没经过较长的搬运。与微相 3a 相比,本微相仅表现为所夹硅质岩减少。考虑到本微相常位于代表下斜坡环境的微相 2a 之上,将其解释为上斜坡环境。



图 6 夹硅质团块或条带灰岩微相

a 与 b 为 69 层厚层夹少量硅质团块及条带的灰岩段; c 与 d 为垂直层面生长的珊瑚化石,圆珠笔平行层面; e 为筳化石,保存较完整

Fig 6 Microfacies of limestone intercalated by lensoid or nodular chert

3 3 3 厚层灰岩微相 (3c)

描述

由浅灰—灰色厚层泥质颗粒灰岩—颗粒灰岩 (图 7a) 组成, 局部为砾屑灰岩 (图 7b)。灰岩单层厚变化大, 厚者可达 200 cm, 薄者小于 50 cm。所含生物丰富, 含海百合 (图 7h, e)、筴 (图 7d)、腕足类、钙质海绵、藻类、珊瑚、腹足类、双壳类等, 其中筴大者可达 3 mm 以上 (图 7d)。局部发育交错层理^[22]。

解释

厚层灰岩中含大量浅水生物, 如海百合、筴、钙质海绵、珊瑚及腕足类等, 指示该微相形成于较浅水体。本微相主要是由颗粒质泥灰岩组成, 局部发育的海百合茎砾屑灰岩和交错层理指示了水体动能较大^[22]。考虑到本微相局部发育准同生的滑动构造, 并时与碎屑流等重力流沉积 (微相 3d 见 3 3 4 节) 互生, 将其解释为上斜坡相。

3 3 4 碎屑流等重力流沉积的灰岩微相 (3d)

描述

主要发育在茅口组顶部的来宾灰岩段 (即 76 层) 底部 (图 7a 8a 和图 10)。由于来宾灰岩顶部之

下约 30 cm 处为瓜德鲁普统与乐平统的界线, 伴随大量底栖生物灭绝, 因此前人对其生物地层学研究已经非常详细^[15 16 22 48]。

本微相按粒度可分为砾屑灰岩和砂屑灰岩两个亚类, 砾屑灰岩呈透镜状分布, 局部厚度可达 1 m 以上 (图 8a), 含大量的腕足类碎屑, 粒度递变不明显。砾屑灰岩之下的岩层往往发生准同生变形 (图 8c 和 e)。砾屑灰岩内部也含破碎的硅质团块。砂屑灰岩单层厚 2~5 cm, 往往发育粒序层理, 层面大致平行 (图 8d 中的 A), 局部不显示层理, 呈团块状 (图 8d 中的 B)。

解释

粒序层理是鉴别浊流沉积的重要标志^[43], 浊流、碎屑流等同属重力流体制的沉积产物^[49], 并且随着流体中碎屑颗粒含量的变化可以相互演化^[49-52]。考虑到本微相含大量的腕足类碎屑, 将其解释为上斜坡环境产物。

图 8 反映了来宾灰岩 (76 层) 底部水体逐渐变浅造成的由下斜坡环境向上斜坡环境的逐渐过渡。

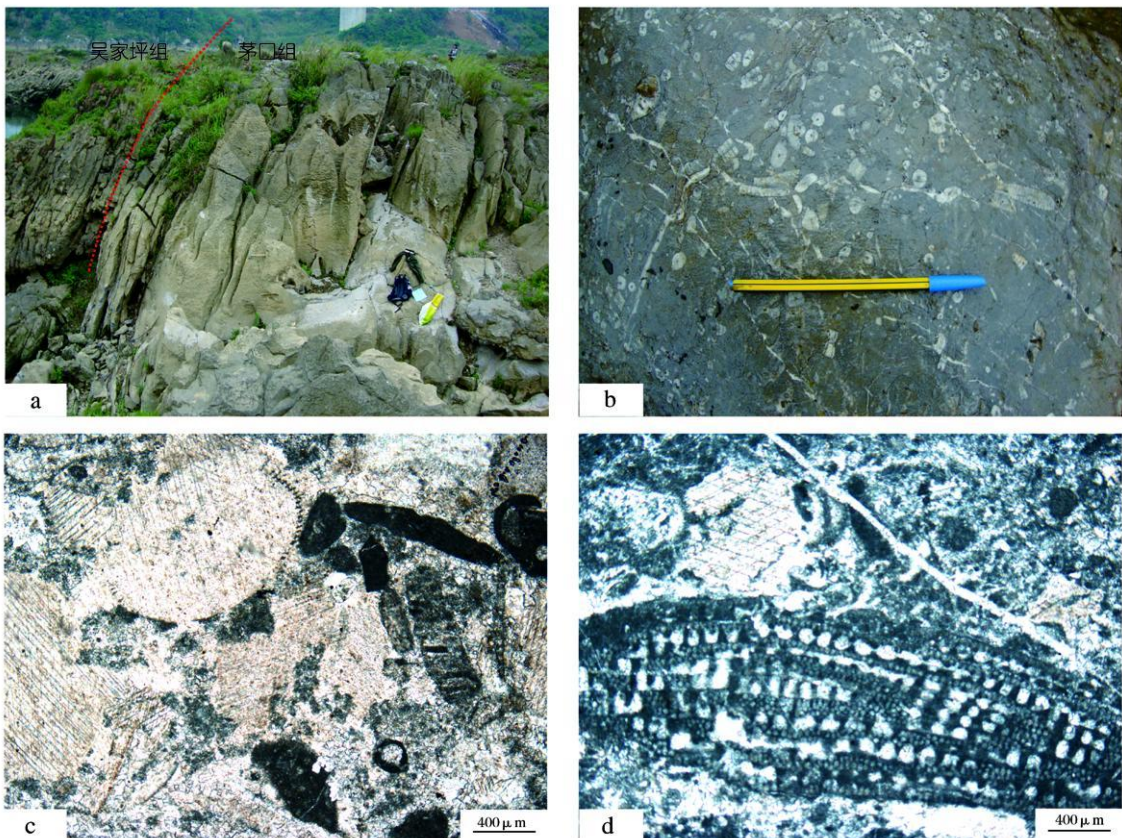


图 7 厚层灰岩微相

a 为厚层灰岩 (来宾灰岩); b 为海百合砾屑灰岩; c 为海百合茎碎片及内碎屑, 单偏光; d 为筴, 单偏光

Fig 7 Microfacies of thick limestone

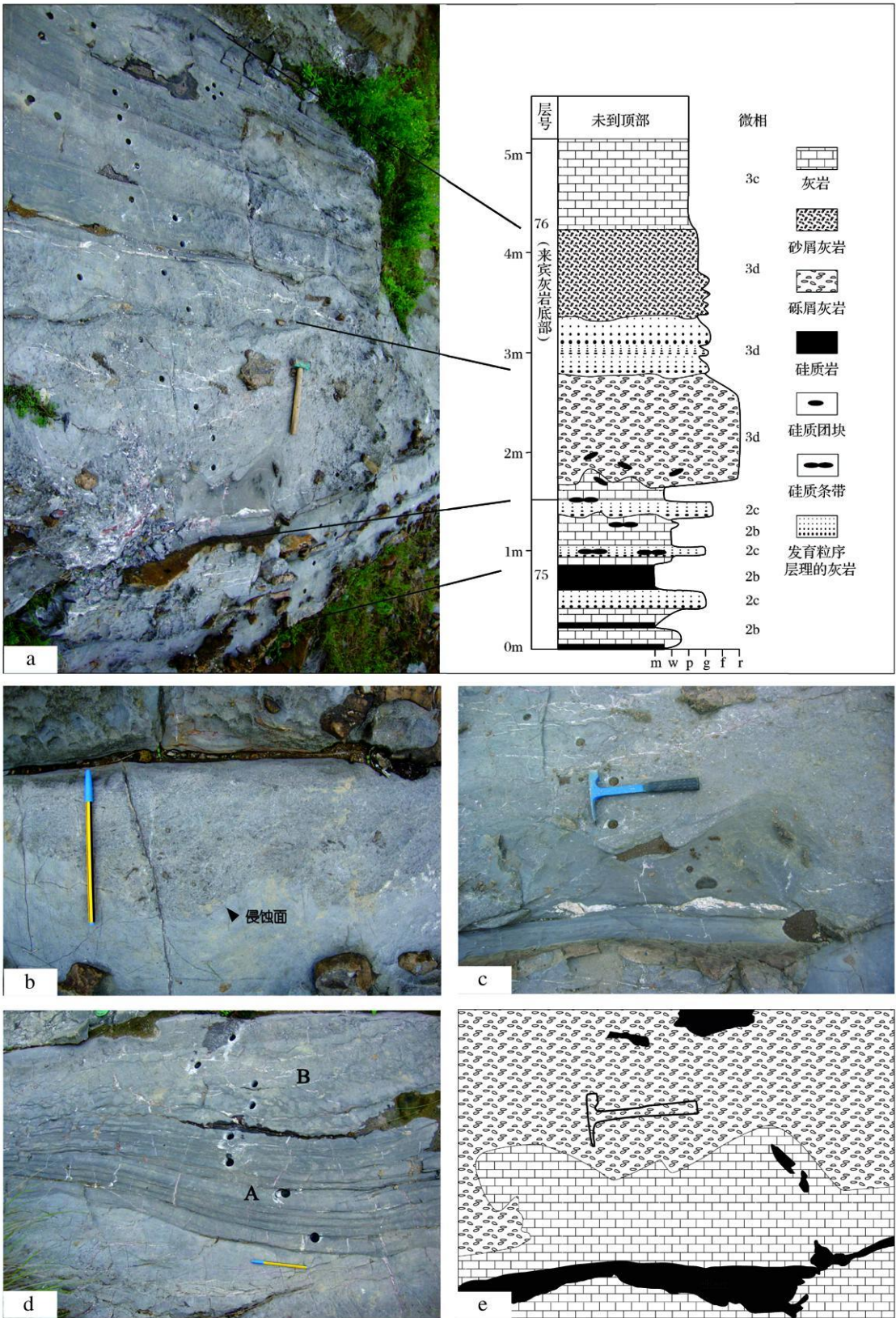


图 8 碎屑流等重力流沉积的灰岩微相

a 为来宾灰岩底部, 微相参见表一; b 为浊流沉积之下的侵蚀面; c 为碎屑流沉积 (砾屑灰岩) 之下的泥质灰岩发生准同生变形, 其内部所夹硅质团块是底部硅质岩破碎后被搬运上面的; e 为素描图; d 为碎屑流沉积 (砂屑灰岩), A 为薄层砂屑灰岩, B 为块状砂屑灰岩

Fig 8 Microfacies of limestone deposited by debris flow and other gravity flows

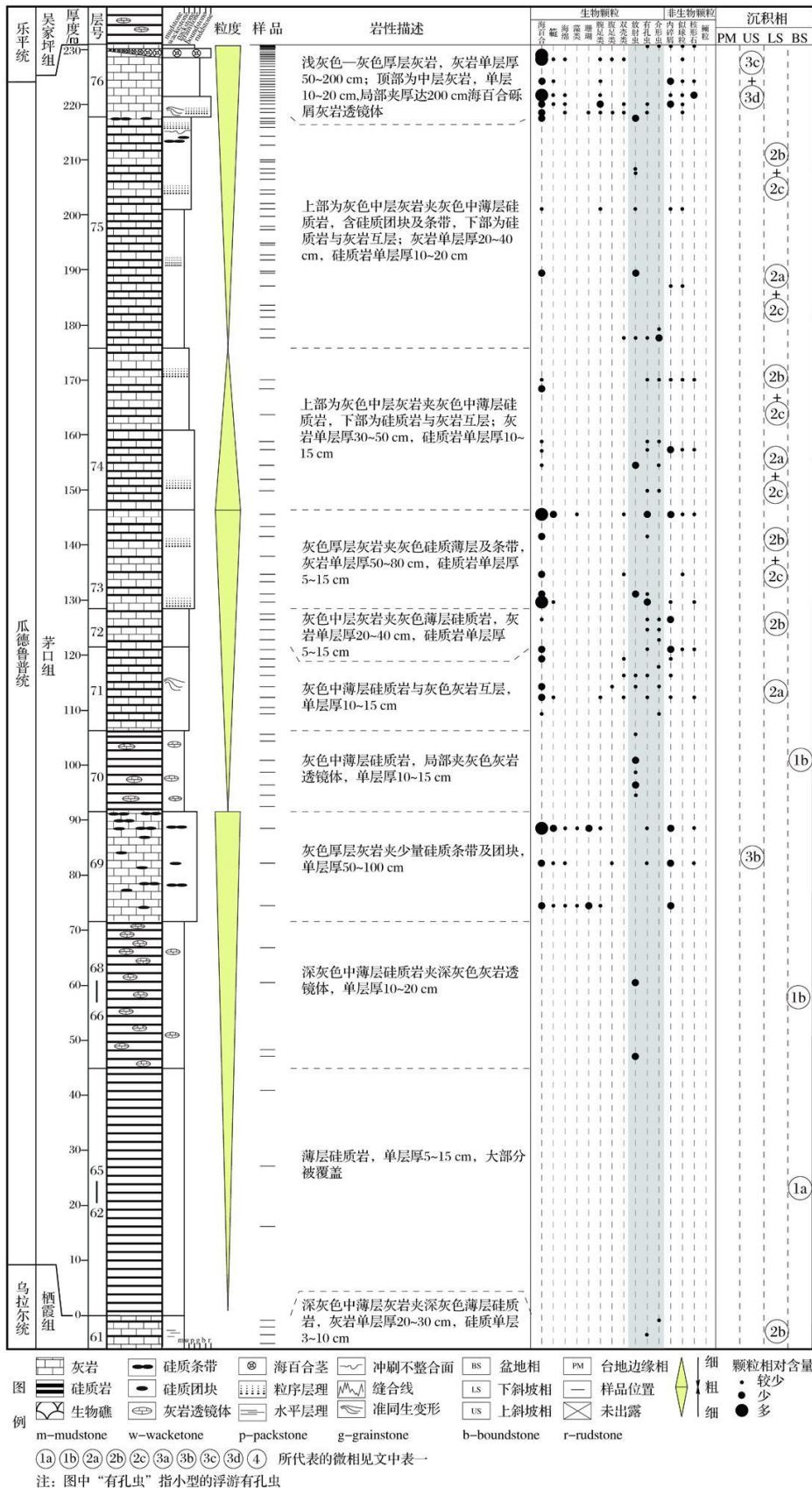


图 10 茅口组沉积相分析

Fig. 10 Sedimentary facies analysis of Maokou Formation

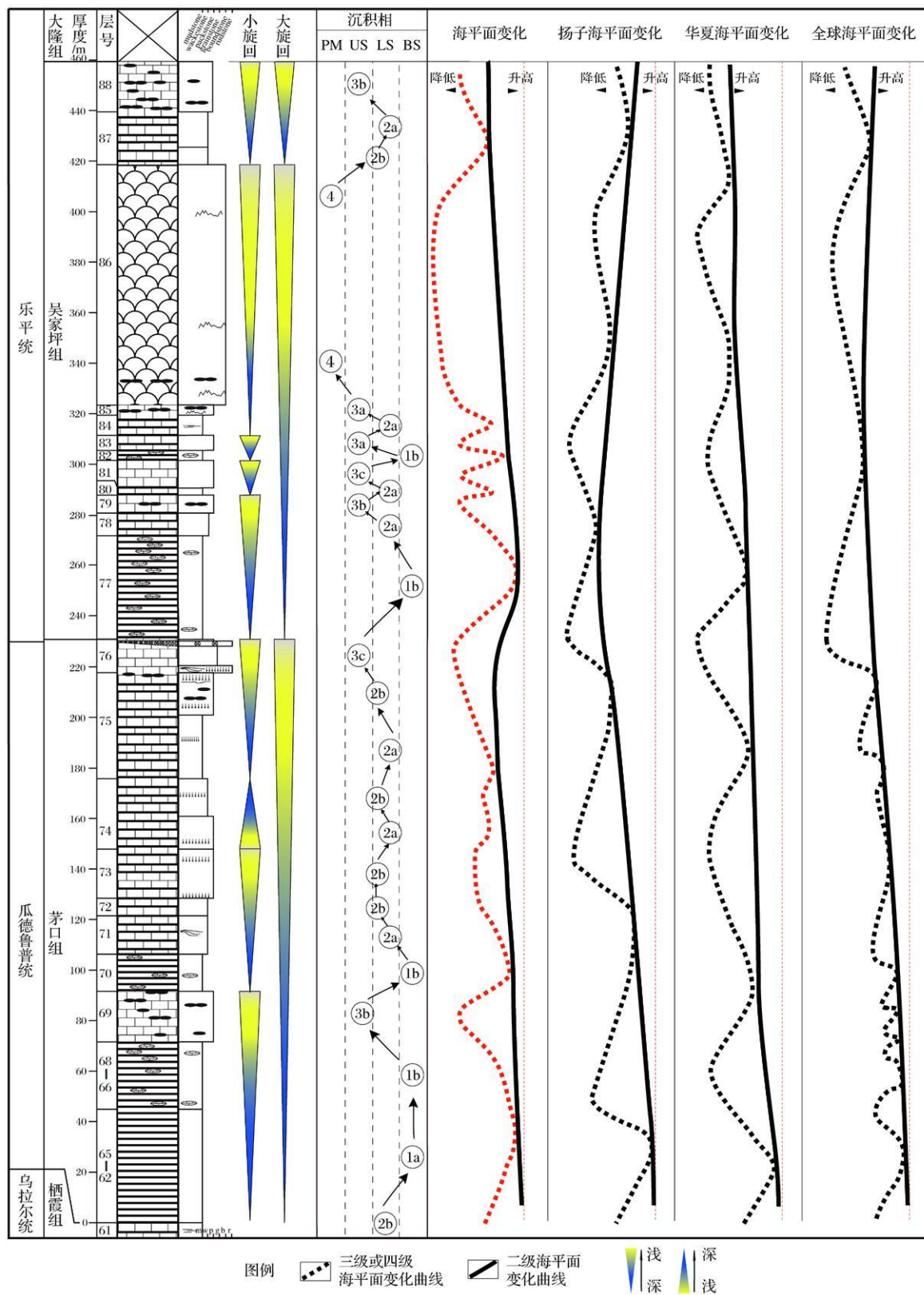


图 12 铁桥剖面茅口组和吴家坪组的沉积相演化及海平面变化 (扬子克拉通与华夏克拉通海平面变化曲线据王成善等 [26]修改; 全球海平面变化曲线据 Haq 等 [2]修改, 图例同图 10)

Fig 12 Sedimentary facies evolution and sea level changes of Maokou Formation and Wujaping Formation in the Tiejiao section (sea level change curve of Yangtze craton and Cathaysia craton modified from Wang et al [26] ,

Global sea level change curve modified from Haq et al [2] , other legends see Fig 10)

升降变化。

在铁桥剖面, 我们共识别出 8 个小旋回和 3 个大旋回(图 12)(吴家坪顶部的大旋回出露不全)。其中茅口组的 3 个小旋回对应于三级海平面变化旋回, 而吴家坪组的 5 个小旋回对应于三级或四级海平面变化旋回。整体上, 茅口组和吴家坪组分别为一个完整的大旋回, 记录了二级海平面的变化旋回, 具体表现为: 茅口期持续下降, 吴家坪早期快速上升, 中期逐步下降, 晚期又升高的特征。

5 讨论

海平面变化不仅可反映全球或地域性气候变化, 而且还控制了烃源岩的发育环境, 因此一直是沉积学家关注的焦点。Haq 等^[2]最近重新厘定了全球古生代海平面变化, 而王成善等^[26]早在十年前就归纳了我国南方的海平面变化样式。需要指出的是, 这些结果都是基于层序地层学研究获得的。本文作者基于沉积微相的分析, 获得了铁桥剖面记录了海平面变化样式, 与前人成果相比, 有异有同。

三级海平面的升降样式整体上为相对快速上升—持续缓慢下降(图 12), 这种升降样式与华夏克拉通闽粤地区^[26]较相似, 而与扬子克拉通^[26]不同。这主要是由于铁桥剖面的古地理位置更靠近台地边缘, 临近深水盆地^[26]。

二级海平面在茅口期持续下降, 这与我国扬子克拉通和华夏克拉通及全球的升降样式一致(图 12)。但是, 吴家坪期表现为先相对快速上升, 随后持续缓慢下降, 这与我国扬子克拉通和华夏克拉通及全球的升降状态^[2]都不一致(图 12)。这一差别主要出现在 76~77 层(图 12)。我们的沉积微相研究表明, 由茅口组上斜坡相突变为吴家坪组盆地相, 造成了海平面变化曲线的拐点。这种“突然相变面”, 被称为淹没不整合面^[54], 在铁桥剖面较为发育(图 12)。由此看来, 对沉积微相的研究可以对层序地层学的研究起到补充和修正的作用。由此也不难理解, 为何刘宝珺院士等老一辈沉积学家对沉积相研究情有独钟。

6 结论

(1) 本文作者对铁桥剖面茅口组和吴家坪组进行详细的沉积微相的研究, 识别出 4 个沉积相和 10 个微相, 分别为: 盆地相(含层状硅质岩微相、含透镜状灰岩的层状硅质岩微相)、下斜坡相(含与灰岩互层的层状硅质岩微相、夹层状硅质岩的灰岩微相、油

流沉积的灰岩微相)、上斜坡相(含夹硅质条带或薄层的灰岩微相、夹硅质团块或条带灰岩微相、灰岩微相、碎屑流等重力流沉积的灰岩微相)和台地边缘相(钙质海绵礁灰岩微相)。

(2) 铁桥剖面的沉积微相叠置序列可分为 8 个小旋回和 3 个大旋回。其中茅口组的 3 个小旋回对应于三级海平面变化旋回, 而吴家坪组的 5 个小旋回对应于三级或四级海平面变化旋回。整体上 3 个大旋回记录了二级海平面的变化旋回, 表现为茅口期持续下降, 吴家坪早期快速上升, 中期逐步下降, 晚期又升高的特征。这一变化趋势与层序地层学研究的结论大同小异, 表明沉积微相的研究可以对层序地层学的研究起到补充和修正的作用。

致谢 中国科学院地质与地球物理研究所朱井泉研究员和中国地质大学严德天博士协助进行了野外考察, 在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 1 Chen Z Q, Jin Y G, Shi G R. Permian transgression-regression sequences and sea-level changes of South China[J]. Proceedings of the Royal Society of Victoria 1998, 110: 345-367
- 2 Haq B U, Schutter S R. A chronology of Paleozoic sea-level changes [J]. Science, 2008, 322: 64-68
- 3 Jin Y G, Zhang J, Shang Q H. Two phases of the end-Permian mass extinction [J]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 1994, 17: 813-822
- 4 Stanley SM, Yang X. A double mass extinction at the end of the Paleozoic Era [J]. Science, 1994, 266: 1340-1344
- 5 Wang X, Sugiyama T. Diversity and extinction patterns of Permian coral faunas of China [J]. Lethaia, 2000, 33: 285-294
- 6 Chung S L, Jahn B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary [J]. Geology, 1995, 23: 889-892
- 7 Xu Y, Chung S L, Jahn B, et al. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestem [J]. China Lithos 2001, 58: 145-168
- 8 He B, Xu Y G, Chung S L, et al. Sedimentary evidence for a rapid kilometer-scale crustal doming prior to the eruption of the Emeishan flood basalts [J]. Earth and Planetary Science Letters 2003, 213(3-4): 391-405
- 9 He B, Xu Y G, Wang Y M, et al. Sedimentation and lithofacies Paleogeography in Southwestem China before and after the Emeishan Flood Volcanism: new insights into surface response to mantle plume activity [J]. The Journal of Geology 2006, 114: 117-132
- 10 Jin Y G, Shen S Z, Henderson CM, et al. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the boundary between the Carboniferous and

- Wuchapingian Stage (Permian) [J]. Episodes 2006, 29(4): 253-262
- 11 金玉珏, 沈树忠, Henderson C M, 等. 瓜德鲁普统 (Guadalupian)-乐平统 (Lopingian)全球界线层型剖面点和 (GSSP) [J]. 地层学杂志, 2007, 31(1): 1-13 [Jin Yujan, Shen Shuzhong, Henderson C M, et al. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the boundary between the Capitanian and Wuchapingian Stage (Permian) [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(1): 1-13]
 - 12 沙庆安, 吴望始, 傅家谟. 黔桂地区二叠系综合研究—兼论含油气性 [M]. 北京: 科学出版社, 1990, 1-150 [Sha Qing'an, Wu Wangshij, Fu Jiamou. An Integrated Investigation on the Permian System of Qian-Gui Areas with Discussion on the Hydrocarbon Potential [M]. Beijing Science Press, 1990, 1-150]
 - 13 刘新宇, 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组燧石结核成因研究及其地质意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 730-736 [Liu Xinyu, Yan Jiaxin. Nodular chert of the Permian Chixia Formation from South China and its geological implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 730-736]
 - 14 梅仕龙, 朱自力, 史晓颖, 等. 广西中部二叠系乐平统层序地层研究 [J]. 现代地质, 1999, 13(1): 11-18 [Mei Shilong, Zhu Zili, Shi Xiaoying, et al. Sequence stratigraphy of Permian Lopingian strata in central Guangxi [J]. Geoscience Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 1999, 13(1): 11-18]
 - 15 Shen S Z, Wang Y, Henderson C M. Biostratigraphy and lithofacies of the Permian System in the Labian-Heshan area of Guangxi, South China [J]. Palaeoworld, 2007, 16(1-3): 120-139
 - 16 Wignall P B, Virdine S, Bond D P G, et al. Facies analysis and sea-level change at the Guadalupian-Lopingian Global Stratotype (Labian, South China), and its bearing on the end-Guadalupian mass extinction [J]. Journal of the Geological Society, London, 2009, 166: 655-666
 - 17 杨万荣. 广西来宾吴家坪组生物岩礁 [J]. 石油与天然气地质, 1987, 8(4): 424-428 [Yang Wanrong. Bioherm of Wujiaoping Formation in Labian, Guangxi [J]. Oil & Gas Geology, 1987, 8(4): 424-428]
 - 18 王志根, 赵嘉明. 广西来宾中二叠世的珊瑚群 [J]. 古生物学报, 1998, 37(1): 40-66 [Wang Zhigen, Zhao Jianming. Middle Permian corals in Labian, Guangxi [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1998, 37(1): 40-66]
 - 19 Mei S L, Jin Y G, Warllaw B R. Conodont succession of the Guadalupian-Lopingian boundary strata in Labian of Guangxi, China and West Texas, USA [J]. Palaeoworld, 1998, 9: 53-76
 - 20 Jin Y G, Mei S L, Wang W, et al. On the Lopingian series of the Permian System [J]. Palaeoworld, 1998, 9: 1-18
 - 21 梅仕龙, 史晓颖, 陈学方, 等. 黔南桂中二叠系 Cisuralian 统和 Guadalupian 统层序地层及其与牙形石演化的关系 [J]. 地球科学, 1999, 24(1): 21-31 [Mei Shilong, Shi Xiaoying, Chen Xuefang, et al. Permian Cisuralian and Guadalupian sequence stratigraphy in South Guizhou and Central Guangxi and its relation to conodont evolution [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(1): 21-31]
 - 22 Chen Z Q, George A D, Yang W R. Effects of Middle-Late Permian sea-level changes and mass extinction on the formation of the Tieqiao skeletal mound in the Labian area, South China [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2009, 56: 745-763
 - 23 Wang W, Cao C, Wang W. The carbon isotope excursion on GSSP candidate section of Lopingian-Guadalupian boundary [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 220(1-2): 57-67
 - 24 Ross C A, Ross J R P. Late Paleozoic sea levels and depositional sequences [C] // Cushman Foundation for Foraminiferal Research. Special Publication, 1987, 24: 137-149
 - 25 Holser W T, Margariz M. Events near the Permian-Triassic boundary [J]. Modern Geology, 1987, 11: 155-180
 - 26 王成善, 李祥辉, 陈洪德, 等. 中国南方二叠纪海平面变化及升降事件 [J]. 沉积学报, 1999, 12(4): 536-541 [Wang Chengshan, Li Xianghui, Chen Hongde, et al. Permian sea-level changes and Rising-Falling events in South China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 12(4): 536-541]
 - 27 冯增昭, 金振奎, 杨玉卿, 等. 滇黔桂地区二叠纪岩相古地理 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 38-55 [Feng Zengzhao, Jin Zhenkui, Yang Yuqing, et al. Permian Lithofacies and Paleogeography of the Yunnan-Guizhou-Guangxi regions [M]. Beijing Geological Publishing House, 1994: 38-55]
 - 28 梅冥相, 郑宪兵, 初汉民, 等. 滇黔桂盆地及邻区二叠纪层序地层格架及古地理演化 [J]. 古地理学报, 2004, 6(4): 401-418 [Mei Mingxiang, Zheng Xuanbing, Chu Hanmin, et al. Sequence stratigraphy framework and palaeogeographical evolution of the Permian of Dian-Qian-Gui Basin and its adjacent areas [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(4): 401-418]
 - 29 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 滇黔桂盆地及邻区二叠系乐平统层序地层格架及其古地理背景 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(5): 605-617 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Sequence stratigraphy framework and palaeogeographical setting of the Loping of the Permian of Dian-Qian-Gui Basin and its adjacent areas [J]. Science in China Series D, 2007, 37(5): 605-617]
 - 30 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 303-312 [Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Sequence and Palaeogeography in South China [M]. Beijing Science Press, 2009: 303-312]
 - 31 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积、地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-289 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, et al. Sedimentation, Tectonic Evolution and Metallogeny of the South China Paleococontinents [M]. Beijing Science Press, 1993: 1-289]
 - 32 曾允孚, 刘文均, 陈洪德, 等. 华南右江复合盆地的沉积构造演化 [J]. 地质学报, 1995, 69(2): 113-124 [Zeng Yunfu, Liu Wenjun, Chen Hongde, et al. Evolution of sedimentation and tectonics of the Youjiang composite basin, South China [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(2): 113-124]
 - 33 秦建华, 吴应邻, 颜仰基, 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): 99-106 [Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yang Yangji, et al. Sedimentary and tectonic evolution of

- the Nanpanjiang Basin during the period of Hercynian to Indosian [J]. *Acta Geologica Sinica* 1996, 70(2): 99-106]
- 34 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 Haoru Discussion on tectonic paleogeography of Nanpanjiang Sea in the Late Paleozoic and Triassic [J]. *Journal of Paleogeography* 2003, 5(1): 63-76]
- 35 罗允义, 唐宾, 林崇献, 等. 桂西右江裂谷的伸展作用和伸展不整合 [J]. *地质通报*, 2004, 23(2): 160-168 [Luo Yunyi Tang Bin Lin Chongxian *et al* Extension and extensional unconformity of the Youjiang rift in Western Guangxi [J]. *Geological Bulletin of China* 2004, 23(2): 160-168]
- 36 陈从林, 史晓颖. 右江盆地晚古生代深水相地层沉积构造演化 [J]. *中国地质*, 2006, 33(2): 436-443 [Chen Conglin, Shi Xiaoying Sedimentary and tectonic evolution of Late Paleozoic deep-water strata in the Youjiang Basin [J]. *Geology in China* 2006, 33(2): 436-443]
- 37 王新强, 史晓颖. 桂西北晚古生代乐业孤立碳酸盐岩台地沉积特征与演化阶段 [J]. *古地理学报*, 2008, 10(4): 329-340 [Wang Xinqiang, Shi Xiaoying Sedimentary characteristics and evolution of the Late Paleozoic Leye isolated carbonate platform in northwest Guangxi [J]. *Journal of Paleogeography* 2008, 10(4): 329-340]
- 38 王清晨. 浅议华南陆块群的沉积大地构造学问题 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 811-817 [Wang Qingchen Preliminary discussion on sedimentary tectonics of the clustered continents of South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2009, 27(5): 811-817]
- 39 史晓颖, 侯宇安, 帅开业. 桂西南晚古生代深水相地层序列及沉积演化 [J]. *地学前缘*, 2006, 13(6): 153-170 [Shi Xiaoying Hou Yu'an, Shuai Kaiye Late Paleozoic deep-water stratigraphic succession in central Youjiang basin constraints on basin evolution [J]. *Earth Science Frontiers* 2006, 13(6): 153-170]
- 40 Fligel E. *Microfacies Analysis of Limestone* [M]. New York: Springer-Verlag, 1982, 273-288, 325
- 41 Fligel 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, 383-430-475 [Fligel E. *Microfacies of Carbonate Rocks—Analysis, Interpretation and Application* [M] // Translated by Ma Yongsheng Beijing: Science Press, 2006, 383-430-475]
- 42 Wilson J L. *Carbonate Facies in Geologic History* [M]. New York: Springer-Verlag, 1975, 75-93
- 43 Shamugan G. The Bouma Sequence and the Turbidite Mind Set [J]. *Earth-Science Reviews* 1997, 42: 201-229
- 44 Kuenen P H, Migliorini C I. Turbidity currents as a cause of graded bedding [J]. *Journal of Geology* 1950, 58: 91-127
- 45 Shamugan G. Ten turbidite myths [J]. *Earth-Science Reviews* 2002, 58: 311-341
- 46 杨万容, 李讯. 中国南方二叠纪礁类型及成礁的控制因素 [J]. *古生物学报*, 1995, 34(1): 67-75 [Yang Wanrong, Li Xun Permian reef types and controlling factors of reef formation in South China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica* 1995, 34(1): 67-75]
- 47 吴亚生, 范嘉松. 钙质海绵之古生态 [J]. *古生物学报*, 2000, 39(4): 544-547 [Wu Yasheng, Fan Jiasong Paleocology of calcisponges (Inozoa s Thalimid sponges Sclerosponges) [J]. *Acta Palaeontologica Sinica* 2000, 39(4): 544-547]
- 48 Shen S Z, Henderson C M, Bowering S A, *et al*. High-resolution Lopingian (Late Permian) timescale of South China [J]. *Geological Journal* 2010, 45: 122-134
- 49 Dasgupta P. Sediment gravity flow—the conceptual problems [J]. *Earth-Science Reviews* 2003, 62: 265-281
- 50 Hampton M A. The role of subaqueous debris flows in generating turbidity currents [J]. *Journal of Sedimentary Research* 1972, 42(4): 775-793
- 51 Talling P J, Amy L A, Wynn R B, *et al*. Beds comprising debris sandwiched within co-genetic turbidite—origin and widespread occurrence in distal depositional environments [J]. *Sedimentology* 2004, 51: 163-194
- 52 Talling P J, Wynn R B, Masson D G, *et al*. Onset of submarine debris flow deposition far from original giant landslide [J]. *Nature* 2007, 450(22): 541-544
- 53 吴亚生, 范嘉松. 二叠纪—三叠纪礁相房室海绵演化与灭绝 [J]. *古生物学报*, 2002, 41(2): 163-177 [Wu Yasheng, Fan Jiasong Permian-Triassic history of reefal Thalimid sponges—Evolution and extinction [J]. *Acta Palaeontologica Sinica* 2002, 41(2): 163-177]
- 54 梅冥相. 淹没不整合型碳酸盐岩三级旋回层序—兼论碳酸盐台地的“凝缩作用” [J]. *岩相古地理*, 1996, 16(64): 24-33 [Mei Mingxiang The third-order carbonate cyclic sequences of drowned unconformity type with discussions on “condensation” [J]. *Sedimentary Facies and Paleogeography* 1996, 16(64): 24-33]

Middle and Upper Permian Sedimentary Microfacies in the Tieqiao Section in Labin, Guangxi, China

QIU Zhen WANG Qing-chen

(State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Based on the sedimentary microfacies study, four sedimentary facies and ten microfacies were identified in the Middle-Permian Maokou Formation and Upper-Permian Wujiaping Formation at the Tieqiao section, Labin, Guangxi. The four sedimentary facies are basin-including microfacies 1a (bedded chert) and 1b (bedded chert

with lensoid limestone); lower slope including microfacies 2a (bedded chert with limestone intercalation), 2b (limestone intercalated with bedded chert), and 2c (limestone turbidite); upper slope, including microfacies 3a (limestone intercalated by bedded chert), 3b (limestone intercalated by lensoid or nodular chert), 3c (thick-layered limestone) and 3d (limestone of gravity-flows); and platform margin including microfacies 4 (calcareous sponge-reef limestone). Both Maokou Formation and Wujaping Formation represent a shallowing-upward sedimentary cycle, however, they are different in cycle evolution. The Maokou Formation is characterized by evolution from basin to slope, with turbidite and debris flow, while the Wujaping Formation by evolution from basin to platform, with frequent microfacies alternation. Sea level changes recorded by microfacies alternation are characterized by continuous falling in the Maokou period, but rapid rising followed by gradual falling then rising in the Wujaping period.

Key words sedimentary microfacies; the middle and upper Permian; sea level change; Laibin; Tieqiao section