

文章编号: 1009-3850(2015)01-0003-13

安徽巢湖地区石炭纪 – 早二叠世碳酸盐岩微相 与沉积环境

李世毅, 姜迪, 赵莹莹, 胡修棉, 史宇坤

(南京大学地球科学系, 江苏 南京 210089)

摘要: 安徽巢湖凤凰山剖面出露石炭系金陵组(C_{1j})、和州组(C_{1h})、黄龙组(C_{2h})、船山组(C_{2c})以及下二叠统栖霞组下部臭灰岩段(P_{1q})等 5 个含碳酸盐岩地层。本文在野外剖面实测的基础上, 对这些碳酸盐岩进行了岩相与微相分析。通过对碳酸盐岩显微薄片的观察分析, 共识别出 14 个微相, 分属于干旱近海岸蒸发台地(潮坪)、局限海台地、开阔台地内部浅滩、开阔海台地等 4 种沉积环境。本文研究结果表明, 石炭纪 – 早二叠世期间, 巢湖地区主要为浅海碳酸盐台地环境, 期间发生了 3 次比较大规模的海侵 – 海退旋回, 并间隔有若干次小规模的海平面升降。

关键词: 安徽; 碳酸盐岩; 沉积微相; 沉积环境; 石炭纪; 早二叠世

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

前言

“微相”这一术语表示岩石薄片在显微镜下所呈现的鉴别标志(Brown, 1943)。Flügel(2010)将“微相”定义为在薄片、揭片和光片中能够被分类的所有古生物学和沉积学标志的总和^[1]。岩石微相分析是恢复其沉积 – 成岩演化历史的重要手段, 通过系统的岩石微相研究, 并把它作为一个环境的物质表现, 可以恢复地质时期内的古地理环境。碳酸盐岩的微相分析和研究被国际国内广泛使用并在相关领域取得了丰硕的成果。Sadooni(1993)利用微相分析的方法系统讨论了伊拉克南部 Yamama 组的灰岩以及其微相和油气藏的关系^[2]。Geel

(2000)利用有孔虫的古生态学特征对西班牙东南部的斜坡沉积进行了微相分析^[3]。此方法已形成了成熟的体系并在不断地发展之中。

巢湖地区古生代地层的古沉积环境分析及中国华南下扬子地区石炭纪的古环境恢复, 前人已有较多工作, 对石炭系沉积微相和古层序地层特征^[4]、下石炭统岩石微相^[5]、沉积特征^[6]等已经进行过研究。然而, 对石炭纪 – 早二叠世碳酸盐岩微相和沉积环境的分析尚嫌欠缺。笔者在 2012 年 8 月巢湖地区区域地质测量的基础上, 系统性地采得了该地区石炭系 – 下二叠统 63 块碳酸盐样品(金陵组 4 块, 和州组 15 块, 黄龙组 28 块, 船山组 5 块, 栖霞组 11 块), 进行了室内岩石微相的系统性分

收稿日期: 2014-07-20; 改回日期: 2014-08-16

作者简介: 李世毅(1992 –), 男, 2014 年毕业于南京大学地球科学与工程学院, 地质学专业。E-mail: lishiyi0722@gmail.com

通讯作者:



胡修棉, 男, 1974 年生, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事青藏高原沉积学研究。曾荣获中国矿物岩石地球化学学会青年科学家侯德封奖, 入选教育部新世纪人才计划。主持科技部 973 课题、国家自然科学基金项目等 10 余项, 近 5 年在《Earth-Sciences Review》、《Basin Research》、《Journal of Geology》等期刊上发表专业论文 39 篇, 其中 SCI 论文 21 篇, 第一作者国际 SCI 论文 8 篇, 通讯作者国际 SCI 论文 6 篇。主编国际沉积地质学会专集 1 部, 主编国际期刊专辑 2 期。E-mail: huxm@nju.edu.cn

析。本文旨在对石炭纪—二叠纪早期地层的碳酸盐岩进行微相分析,恢复该地质时期的古沉积环境,进而揭示其沉积环境演化的规律。

1 区域地质概况

1.1 大地构造背景

巢湖地区位于中国南部,属扬子地层区、下扬子地层分区、六合—巢县地层小区(图1)。本区石炭纪地层发育齐全、出露良好、生物丰富、沉积特征清楚,可见清晰的沉积旋回界面(和州组);早二叠世栖霞组地层发育、出露完好,在下扬子地区有良好的可对比性^[7]。

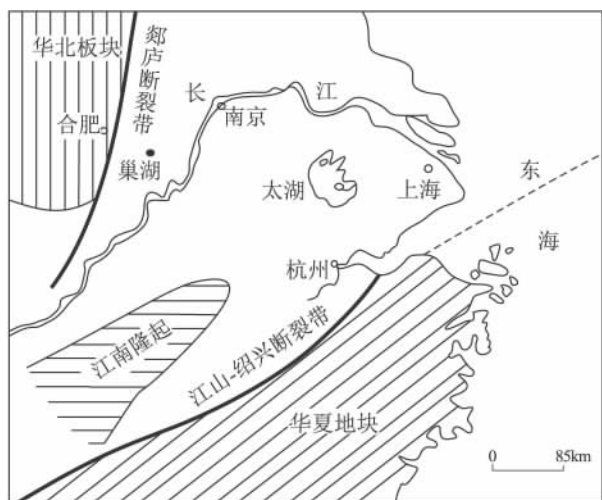


图1 下扬子区大地构造示意图,显示研究区巢湖的位置^[9]

Fig. 1 Tectonic setting of the Lower Yangtze area, showing the location of the Chaohu region, Anhui (after Zhang Guodong et al., 1991)

本区区域构造主要受加里东运动形成的基底构造格局的控制。加里东运动导致板块汇聚和大陆增生,由北方板块和南方板块组成的泛中国大陆形成。尽管陆块已经聚合,但一定程度上依然保留原有特性。陈宏明等^[8]提出古构造单元的四级划分方案,第一级构造单元是组成泛中国大陆的南方板块和北方板块,其中南方板块可以进一步划分出扬子陆块、华夏陆块和钦防残余洋盆等3个二级构造单元。巢湖地区位于扬子陆块上,从属于第三级构造单元—扬子克拉通地块。扬子克拉通地块奠基于晋宁期结晶基底之上,构造属性稳定,沉积建造系稳定,且地层薄、岩相稳定、火成活动微弱。扬子克拉通地块可以进一步划分为鲁东隆起区、中下扬子拗陷区、江南隆起带等3个四级构造单元,巢湖

地区从属于中下扬子拗陷区,该构造单元活动性相对较强,地层发育完整。

石炭纪到早二叠世,研究区处于海西运动时期。海西运动前半期地壳比较稳定,以升降运动为主,期间发生多次规模不等的海侵—海退;直到中—晚石炭世,海西运动进入后半期,主要的地壳运动由稳定的升降运动转变为活动性较强的褶皱运动。

本次研究选取了巢湖地区凤凰山剖面(图2),对该剖面进行了详细的野外实测,并系统地采集了碳酸盐岩样品进行室内微相鉴定研究。剖面内共有石炭纪岩关期金陵组、大塘期高骊山组、和州组、威宁期黄龙组、二叠纪马平期船山组、栖霞组沉积,和州组与黄龙组之间缺失区域上发育的老虎洞组地层,各组之间均为假整合接触,黄龙组与船山组之间可见风化壳。碳酸盐岩样品取自金陵组、和州组、黄龙组、船山组和栖霞组臭灰岩段。

1.2 岩石地层单位的时代归属及描述

依据古生物化石的产出以及在区域上的对比,凤凰山地区的石炭系—早二叠世地层年代归属如表1、图3(安徽省地质矿产局,1987;《中国地层典》编委会,2000;王向东、金玉环,2005)。

1.2.1 Mississippian 亚纪 Tournaisian 期

金陵组(C_{1j}):地层出露于平顶山向斜两翼,实测厚度5.76m,灰黑色中厚层生物屑灰岩,含丰富的珊瑚化石,还可见腕足类、海百合、介形虫及少量海胆、三叶虫等,与上覆地层高骊山组为假整合接触。

1.2.2 Mississippian 亚纪 Viséan 期

高骊山组(C_{1g}):层厚14.7m。下部沉积土黄色薄层细粒石英砂岩,中部为杂色页岩夹泥灰岩透镜体,含珊瑚化石,顶部发育灰黄色中厚层细粒石英砂岩为主,与下伏金陵组及上覆和州组均为假整合接触。

1.2.3 Mississippian 亚纪 Viséan 期—Serpukhovian 期

和州组(C_{1h}):地层出露于凤凰山南坡,狮子口等地,实测厚度23.90m。可观察出4个半旋回,灰白色中层微晶生物屑灰岩与黄绿色泥页岩互层,灰岩特征明显,种类较丰富,多为厚层块状微晶灰岩。旋回I顶部灰岩有瘤状突起,旋回IV发育多个风化面,顶部可见炉渣状结构。其上的灰色、灰白色白云岩,宁镇地区将此层位称老虎洞组^[11]在此地缺失。生物种类丰富,以蜓、珊瑚、腕足类居多。与下伏高骊山组、上覆黄龙组之间均为假整合接触。

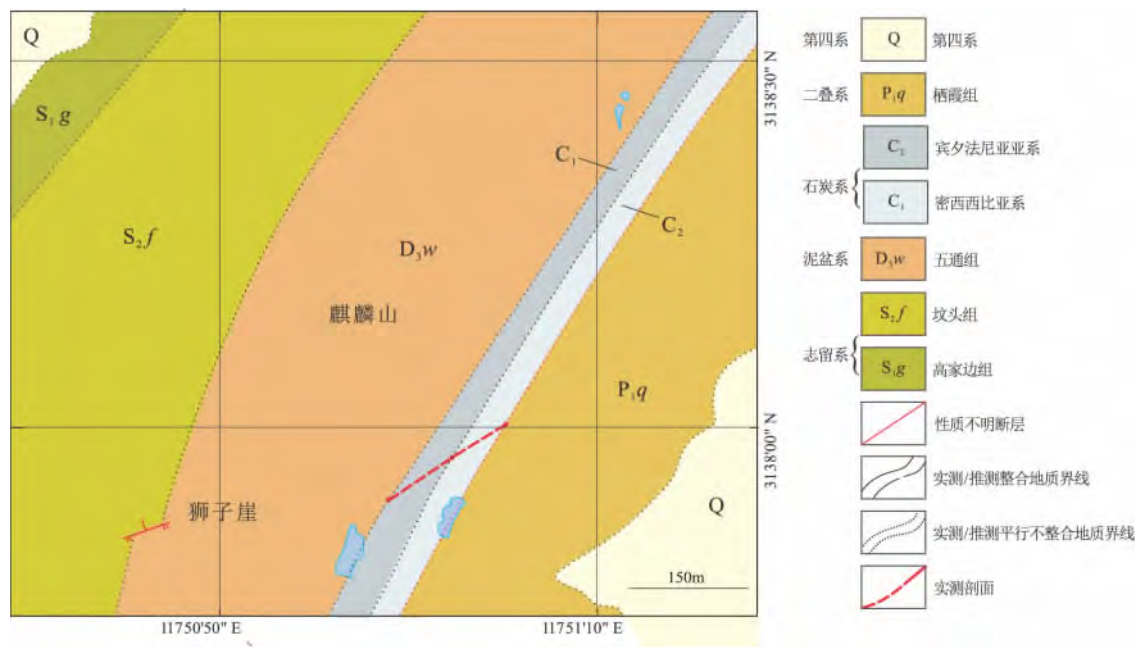


图 2 麒麟山地区地质图

Fig. 2 Simplified geological map of the Qilin Mountain area

表 1 安徽巢湖地区岩石地层单位年代划分

Table 1 Classification of the lithostratigraphic units in the Chaohu region , Anhui

国际标准年代地层单位*				中国标准年代地层单位**		岩石地层单位***
系	统	阶	时间 (Ma)	统	阶	岩组
二叠系	乌拉尔统	空谷阶 (Kungurian)	298.9±0.2	阳新统	罗甸阶	栖霞组
		亚丁斯克阶 (Artinskian)	195.5±0.5			
		萨克马尔阶 (Sakmarian)	290.1±0.1	船山统	紫松阶	船山组
		阿瑟尔阶 (Asselian)	279.3±0.6			
石炭系	宾夕法尼亚亚系	格舍尔阶 (Gzhelian)	303.7±0.1	马平统	小独山阶	黄龙组
		卡西莫夫阶 (Kasimovian)	307.0±0.1	威宁统	达拉阶	
		莫斯科阶 (Moscovian)	315.2±0.2		滑石板阶	和州组
		巴什基尔阶 (Bashkirian)	323.2±0.4		罗苏阶	
	密西西比亚系	谢普霍夫阶 (Serpukhovian)	330.9±0.2	大塘统	德坞阶	高骊山组
		维宪阶 (Viséan)	346.7±0.4		上司阶	
					旧司阶	
		杜内阶 (Tournaisian)	358.9±0.4	岩关统	汤耙沟阶	金陵组

* International Chronostratigraphic Chart ,International Commission on Stratigraphy ,August 2012

** 中国地层典,《中国地层典》编委会 2000

*** 安徽省区域地质志 ,安徽省地质矿产局 ,1987

1.2.4 Pennsylvanian 亚纪 Bashkirian – Moscovian 期

黄龙组(C₂h): 地层出露于凤凰山背斜南东侧 , 平顶山向斜两翼 , 实测厚度 34.33m。灰白色厚层亮晶生物屑灰岩夹球粒灰岩 , 灰黄色-灰白色中厚层生物屑微晶灰岩 , 含鸟眼构造 , 海相化石众多 , 如蜓类

及珊瑚化石、腕足类、双壳类等。与下伏和州组、上覆船山组之间均为假整合接触。

经初步研究 , 凤凰山剖面黄龙组含 *Profusulinella parva* , *P. montichomata* , *P. rhomboides* , *P. pararhomboides* , *Fusulinella obesa* , *F. mosquensis* ,

2 碳酸盐岩微相分析

2.1 微相分析方法

微相研究的主要目的是分析“微”环境,这就决定了它的主要内容就是研究能够反映沉积环境信息的岩石微观特征^[17]。

从现代成因岩石学的角度看,微相研究并不仅仅限于对微相“类型”的划分,并以此作为划分环境的依据,其目的还应包括“分析”的内涵,即研究沉积环境的具体特点,揭示岩石形成作用的过程,微相序列的变化及其外在的控制因素等,进而为宏观的沉积学研究提供准确、细微的可靠证据^[18]。

微相分析方法大体上可分为野外研究阶段和实验室研究两个阶段(Flügel, 2004)。野外研究包括对相关剖面地层的系统描述,主要包括岩性、层厚、化石的种类和含量等。此外,野外研究的另一个任务是进行岩石采样。实验室研究阶段主要是利用偏光显微镜对岩相进行分析,探究出岩石的组分和组分之间的关系、变化、演进及其所标示的沉积环境和沉积作用特征等方面的含义,也包括部分显微镜下可见的沉积构造特征,观察出反映水动力条件、沉积作用过程及生物活动特征的各种沉积构造。

本次碳酸盐岩微相研究的结果主要基于对巢湖凤凰山剖面的野外实测以及采集的 63 块灰岩样品的镜下微相分析。微相与沉积环境的划分全部取决于薄片的镜下鉴定结果。野外取样基本按 1 ~ 2m 间距系统采样。鉴定和拍照在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室的 Nikon 和 Zeiss 显微镜下完成。

对于碳酸盐岩岩相的分析方案,本文主要依据曾允孚(1984)的灰岩分类方案^[19],其分类方案主综合了邓哈姆(Dunham, 1962) 以及福克(Folk, 1959、1962) 的分类方法,在国内使用较为普遍。主要依据的标志为基质、颗粒、胶结物的种类和相对数量、组构特征以及化石。

对于碳酸盐岩微相的分析主要基于岩相,本研究所采用的主要依据的微相标志如下^[5]。

(1) 基质和胶结物

泥晶(微晶)基质的含量与粒级;

亮晶胶结物的含量与粒级

(2) 颗粒

包括生物屑颗粒、球粒、集合颗粒、包粒(核形石、鲕粒)

(3) 结构构造

如鸟眼组构、窗格组构、缝合线等

微相及古环境的划分分别参考了威尔逊(Wilson, 1975) 的标准相带模式与 SMF 标准微相^[5],然后加以补充和修改而成。

2.2 岩相类型

本研究通过镜下薄片观察,共划分出 14 种岩相类型(表 1)。

MF1. 微晶生物屑灰岩: 基质以细粒的微晶基质为主,颗粒大小 5 ~ 30 μm ,含量 < 50%,颗粒以生物屑为主,含量 > 微晶,在本分类中含量 > 50%。主要分布在金陵组、和州组旋回 I、

旋回 II 以及栖霞组臭灰岩段。

MF2. 微晶颗粒灰岩: 基质同样以细粒的微晶基质为主,含量小于颗粒,颗粒种类较多,除生物屑之外还有数量可观的砂屑、凝块、团粒等。在黄龙组分布。

MF3. 含生物屑微晶灰岩: 微晶基质含量 > 生物屑,颗粒以生物屑为主,含量 10% ~ 20%。在和州组、黄龙组、栖霞组臭灰岩段均有分布。

MF4. 生物屑微晶灰岩: 颗粒以生物屑为主且含量 > 20%,微晶基质含量 > 生物屑。主要分布在黄龙组、栖霞组臭灰岩段以及少部分和州组。

MF5. 微晶灰岩: 颗粒含量很少,一般 < 10%,微晶基质占绝大多数。产于黄龙组、船山组以及栖霞组臭灰岩段。

MF6. 亮晶生物屑灰岩: 颗粒以生物屑为主,含量 > 50% > 亮晶胶结物,泥晶套普遍发育。颗粒间填充着亮晶胶结物,含量丰富,大于泥晶基质。分布于黄龙组、船山组以及和州组第二旋回。

MF7. 亮晶颗粒灰岩: 与亮晶生物屑灰岩区别在于颗粒种类丰富,除生物屑之外还有团块、砂屑、凝块、核形石等。产于黄龙组。

MF8. 生物屑亮晶核形石灰岩: 实际上为亮晶颗粒灰岩,但因其核形石含量占颗粒的大多数,故命此名。产于船山组。

MF9. 亮晶砂屑灰岩: 砂屑含量占颗粒绝大多数且 > 50%,亮晶胶结物丰富。产于黄龙组。

MF10. 泥晶颗粒灰岩: 基质以泥晶为主,泥晶颗粒粒径小于 4 μm (Folk, 1959)。颗粒含量 > 泥晶基质,种类丰富,有球粒、团块或砂屑,以及少量生物屑。产于黄龙组。

MF11. 生物屑泥晶灰岩: 基质以泥晶为主,泥晶

含量 > 颗粒(生物屑)。生物屑占颗粒的绝大多数。产于黄龙组。

MF12. 泥晶灰岩: 颗粒含量 < 10%, 以泥晶基质占绝大多数。产于黄龙组、和州组 II、III 旋回。

MF13. 含砂屑泥晶灰岩: 颗粒单一, 为砂屑, 含量 20% ~ 10%, 剩余基质为泥晶基质。主要产于和州组旋回 II。

2.3 不同沉积环境下的微相类型

本研究共划分 14 类微相 4 种沉积环境(微相类型汇总见表 2 照片见图版), 包括潮坪环境、局限海台地环境、开阔台地内部浅滩环境和开阔海台地环境, 沉积相模式主要为浅海碳酸盐岩台地相。

2.3.1 潮坪环境

MF1: 含少量或不含生物碎屑, 几乎全部为泥晶或微晶基质, 含有石英碎屑。对应岩相为含石英碎屑的泥晶灰岩、微晶灰岩。与 MF2 的区别在于含有较多的石英碎屑(图版 I-1), 且少见类似的鸟眼组构或窗格构造。

MF2: 含少量或不含生物碎屑, 几乎全部为泥晶或微晶基质, 有的重结晶作用强烈, 发育窗格组构(图版 I-2) 或鸟眼构造。对应岩相为发育窗格、鸟眼组构的泥晶灰岩、微晶灰岩。

2.3.2 局限海台地环境

MF3: 生物屑占颗粒主要成分, 但种类较为单一, 含量较少(30%); 泥晶基质占 50% 左右, 但是生物屑周边仍可见较多亮晶胶结(图版 I-3), 显示其水体能量有一定强度。

MF4: 主要颗粒类型为团块(图版 I-4)、球粒、砂屑, 生物屑含量很少, 颗粒含量 60%, 亮晶胶结物含量较少, 主要为泥晶基质填充。对应岩相为泥晶颗粒灰岩。与 MF6、MF5 的区别在于颗粒含量较多, 一般 > 50%, 但是几乎不含生物屑。

MF5: 含少量或不含生物碎屑, 几乎全部为泥晶或微晶基质(图版 I-5)。对应岩相为泥晶灰岩、微晶灰岩。与 MF6 的区别在于几乎不含生物碎屑。

MF6: 生物屑种类单一, 含量较少, 主要生物种类可见有孔虫(图版 I-6)、三叶虫或海百合与腕足类组合, 含量 10% ~ 15%, 泥晶基质占 80% 左右, 亮晶胶结物含量很少。对应岩相为含生物屑微晶灰岩。

2.3.3 开阔台地内部浅滩环境

MF7: 颗粒组分主要为生物屑颗粒, 含量 20% 左右, 主要生物种类为有孔虫、海百合, 偶见少量的腕足类、介形虫、三叶虫等; 亮晶胶结物含量大于 25%

(图版 I-7), 但同时也有较多的泥晶基质, 含量在 50% 左右。对应岩相为含亮晶的生物屑微晶灰岩。与 MF10、MF9、MF8 的区别在于颗粒含量很少, 颗粒种类以生物屑为主, 泥晶、亮晶同时存在, 但是泥晶含量大于亮晶。

MF8: 颗粒以核形石为主, 含量约 60%, 核形石颗粒较大, 外表皮较薄, 可见管状结构(图版 I-8); 也含有少量生物碎屑。颗粒之间被亮晶胶结, 亮晶胶结物含量约 35%, 泥晶基质含量较少。对应岩相为亮晶核形石灰岩。与 MF10、MF9 的区别在于核形石作为一种典型的微相特征颗粒含量较多。

MF9: 颗粒种类以砂屑、凝块、球粒为主, 含量 60% 左右, 凝块和球粒内部被泥晶填充, 少量的生物碎屑, 主要为海百合、有孔虫(图版 II-1)、腕足类, 亮晶胶结物含量在 30% 左右, 泥晶基质含量很少, 反映了动荡的水体环境。对应岩相为亮晶颗粒灰岩、亮晶砂屑灰岩。与 MF10 的区别在于颗粒中生物屑含量较少, 基质中泥晶基质含量很少。

MF10: 生物屑含量 60% ~ 80%, 生物种类较多, 主要为有孔虫、介形虫、双壳类、海百合、腕足类等, 生物屑颗粒外表包裹泥晶套, 偶见砂屑、团块。亮晶胶结物含量在 20% ~ 40% (图版 II-2), 泥晶基质约 10% 指示动荡的水体环境。对应岩相为亮晶生物屑灰岩。

2.3.4 开阔海台地环境

MF11: 颗粒含量较小(20% 左右或小于 10%), 颗粒类型主要为生物屑颗粒, 生物种类丰富, 可见海百合、有孔虫、双壳类, 泥晶基质含量较多(60% ~ 70%) (图版 II-3), 亮晶胶结物含量很小, 一般小于 10% 指示稳定的水体环境, 且较不适宜生物生长。对应岩相为含生物屑微晶灰岩、微晶灰岩。与 MF14、MF13、MF12 的区别在于其颗粒含量进一步减少, 微晶基质含量进一步增多。

MF12: 生物屑颗粒为主, 含量约 20% ~ 35%, 生物种类主要为海百合、腕足类(图版 II-4)、有孔虫、介形虫, 泥质胶结, 亮晶含量 15% ~ 20% 或更少, 水体动荡能量较小。对应岩相为生物屑微晶灰岩、泥晶灰岩。与 MF14、MF13 的区别在于其颗粒含量较少, 且主要以生物屑为主, 泥质或微晶基质较多。

MF13: 颗粒含量 50% ~ 60%, 颗粒类型丰富, 可见凝块、球粒、团块、砂屑、核形石和生物碎屑, 生物主要有孔虫、海百合、腕足类、介形虫。生物颗粒边缘被泥晶包裹, 泥晶基质含量 25% ~ 40%, 亮晶胶结物含量小于 10%。指示缓慢稳定的水体环境(图

表 2 碳酸盐岩微相类型汇总表

Table 2 Summary of the carbonate rock microfacies in the Chaohu region, Anhui

编号	微相类型	剖面中的位置及岩性描述	微相描述	沉积环境
MF1	含石英碎屑的泥晶灰岩、微晶灰岩	分布在和州组第三旋回以及黄龙组底部,岩性为微晶灰岩或泥晶灰岩	含少量或不含生物碎屑,几乎全部为泥晶或微晶基质,含有石英碎屑	潮坪环境
MF2	发育窗格、鸟眼组构的泥晶灰岩、微晶灰岩	分布于和州组第三旋回,黄龙组顶部,船山组以及栖霞组臭灰岩段底部。岩性为泥晶灰岩或是微晶灰岩	含少量或不含生物碎屑,几乎全部为泥晶或微晶基质,有的重结晶作用强烈,发育窗格组或鸟眼构造	潮坪环境
MF3	含亮晶的生物屑微晶灰岩	分布于和州组第四旋回。生物屑微晶灰岩为主	生物屑占颗粒主要成分,但种类较为单一,且数量不多(30%),泥晶基质占50%左右但是生物屑周边仍然有数量可观的亮晶胶结,显示其水体能量有一定强度	局限海台地环境
MF4	泥晶颗粒灰岩	黄龙组中段,岩性为泥晶颗粒灰岩。生物屑含量很少,其余颗粒物质较多	主要为团块、球粒、砂屑,生物屑含量很少,颗粒含量60%,亮晶胶结物含量较少,主要为泥晶基质填充	局限海台地环境
MF5	泥晶灰岩、微晶灰岩	分布在和州组二三旋回,以及黄龙组中段,岩性为泥晶灰岩或微晶灰岩,含极少或不生物	含少量或不含生物碎屑,几乎全部为泥晶或微晶基质	局限海台地环境
MF6	含少量生物屑微晶灰岩	分布在栖霞组臭灰岩段底部,黄龙组中段以及和州组三四旋回。岩性为含生物屑微晶灰岩	生物屑种类单一,含量较少,主要种类有孔虫或三叶虫或海百合与腕足类组合,约为10%~15%,泥晶基质含量很多,在80%左右,亮晶胶结物含量很少	局限海台地环境
MF7	含亮晶的含生物屑微晶灰岩	分布在栖霞组以及黄龙组底部。主要为含生物屑微晶灰岩,但是亮晶胶结物的含量也达到了不可忽视的量	颗粒组分主要为生物屑,含量20%左右,种类主要有孔虫、海百合和少量的腕足类、介形虫、三叶虫等,亮晶胶结物含量大于25%,但同时也有较多的泥晶基质,含量在50%左右	开阔海台地内部浅滩环境
MF8	亮晶核形石灰岩	分布在船山组顶部,含大量核形石,为亮晶核形石灰岩	颗粒以核形石为主,含量约60%,核形石颗粒较大,外表皮较薄,可见管状结构;还有少量生物碎屑。颗粒之间被亮晶胶结,亮晶胶结物含量约35%,泥晶基质含量较少	开阔海台地内部浅滩环境
MF9	亮晶颗粒灰岩、亮晶砂屑灰岩	以黄龙组中部和顶部较多,底部少量分布,顶部为亮晶砂屑灰岩,中部和下部为亮晶颗粒灰岩	颗粒以砂屑、凝块、球粒为主,含量60%左右,凝块和球粒内部被泥晶填充,少量的生物碎屑,主要为海百合、有孔虫、腕足类,亮晶胶结物含量在30%左右,泥晶基质含量很少	开阔海台地内部浅滩环境
MF10	亮晶生物屑灰岩	分布也较为广泛,主要在和州组第二旋回,黄龙组中段以及船山组。岩性为亮晶生物屑灰岩	生物屑含量约60%~80%,生物种类较多,主要有孔虫、介形虫、双壳类、海百合、腕足类等,生物屑颗粒外表包裹泥晶套,偶见砂屑、团块。亮晶胶结物含量在20%~40%,泥晶基质约10%	开阔海台地内部浅滩环境
MF11	含生物屑微晶灰岩、微晶灰岩	分布在和州组第一旋回以及黄龙组中段,主要为含生物屑微晶灰岩以及微晶灰岩,生物屑含量相近,皆较少	颗粒含量较小(20%左右或小于10%),颗粒生物为主,种类是海百合,有孔虫,双壳类,泥晶基质含量较多(60%~70%),亮晶胶结物含量很小,小于10%	开阔海台地环境
MF12	生物屑微晶灰岩、泥晶灰岩	分布较为广泛,可见主要分布于黄龙组中下段,中上段少有分布。此外,栖霞组臭灰岩段顶部和底部也略有分布。岩性以生物屑微晶灰岩为主,黄龙组下段有生物屑泥晶灰岩少量分布	主要为生物屑,含量约20%~35%,生物种类主要为海百合、腕足类、有孔虫、介形虫,主要为泥质胶结,亮晶含量15%~20%或更少	开阔海台地环境
MF13	微晶颗粒灰岩	主要分布在黄龙组中上部。皆为微晶颗粒灰岩,但颗粒种类稍有区别。有些生物较多,有些以凝块为主,有些含较多砂屑,团块或是核形石	颗粒含量50%~60%,含有凝块、球粒、团块、砂屑、核形石和生物碎屑,生物主要有孔虫,海百合,腕足类,介形虫。生物颗粒边缘被泥晶包裹,泥晶基质含量在25%~40%。亮晶胶结物含量小于10%	开阔海台地环境
MF14	微晶生物屑灰岩	主要分布在金陵组以及和州组下部第一旋回,以及少量在栖霞组臭灰岩段下部。为典型的微晶生物屑灰岩	生物屑含量60%~70%,主要为海百合(含量25%~35%),腕足类25%左右,介形虫,海胆,软体动物等。泥晶基质含量20%左右,亮晶胶结物含量很少	开阔海台地环境

版 II-5)。对应岩相为微晶颗粒灰岩。与 MF14 的区别为颗粒种类更为丰富,不仅有较多的生物碎屑,还含有球粒凝块等颗粒,且亮晶胶结物更少。

MF14: 生物屑含量 60% ~ 70%, 主要为海百合(含量 25% ~ 35%)、腕足类(25% 左右)、介形虫、海胆、软体动物等。泥晶基质含量 20% 左右,亮晶胶结物含量较少,反应适宜生物生长的较低能量水体环境(图版 II-6)。对应岩相为微晶生物屑灰岩。

3 沉积环境分析

研究区地处下扬子板块大丰-巢湖亚区的巢北地区,自晚泥盆世晚期部分地区海水已经侵入,沉积了滨海潮坪相地层^[20]。本次研究分析表明,石炭纪至早二叠世时期本区主要为浅海碳酸盐岩台地相沉积,间有 3 次较大规模的海侵-海退旋回。

本区自石炭纪开始,沉积了一系列的海相地层,自下而上有金陵组、高骊山组、和州组、黄龙组、船山组和栖霞组。在微相分析的基础上,参考威尔逊模式标准相带,建立了本区石炭纪至早二叠世的沉积模式如图 4,各段地层沉积环境分述如下。

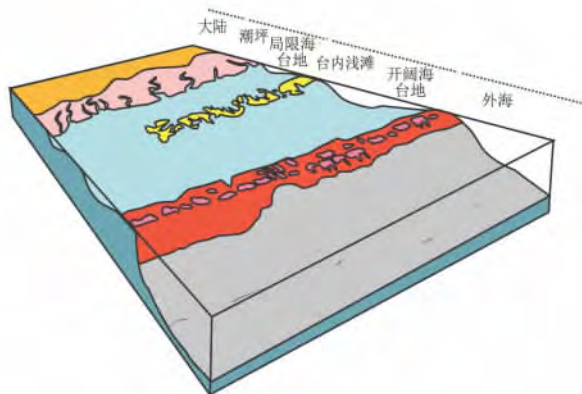


图 4 巢湖地区石炭纪-早二叠世沉积模式图

Fig. 4 Sedimentary model for the Chaohu region, Anhui during the Carboniferous - Early Permian

3.1 Mississippian 亚纪 Tournaisian 期

金陵组(C_{1j}): 金陵组主要沉积微晶生物屑灰岩,微相类型主要为 MF14,生物屑含量较多,生物种类丰富,主要为海相底栖生物化石如海百合(25% ~ 35%)、腕足类(25% 左右)、介形虫、海胆、软体动物等;泥晶基质含量较多,亮晶胶结物含量较少,为一套海侵沉积体系。这与岩关期的海侵相符。资料显示,此期间下扬子海接受古太平洋海水的漫漫^[21],形成适宜生物生长的开阔海台地环境。此时水体能量较为稳定、盐度正常。

3.2 Mississippian 亚纪 Visean 期

高骊山组(C_{1g}): 野外观察到高骊山组与金陵组成平行不整合接触,反映了金陵组末期的快速海退^[20]。此阶段属于高水位海退体系。高骊山组沉积物以杂色页岩和顶部的灰白色略带黄褐色中厚层细粒石英砂岩为主,无碳酸盐岩沉积。前人研究表明,高骊山组为一向上变浅序列,由潮下低能开放海湾,向上为开阔台地,再上为潮下高能和潮间的沙坝沙坪环境^[20]。

金陵组和高骊山组共同组成了石炭系第一个海平面升降旋回^[21]。金陵组的生物屑灰岩为海侵沉积体系,然后,下扬子海海平面下降,从而在金陵组之上沉积了高骊山组的砂泥岩。

3.3 Mississippian 亚纪 Visean 期 - Serpukhovian 期

和州组(C_{1h}): 和州组发育较为明显的旋回式沉积,野外共识别出 4 个半沉积旋回。每套沉积旋回以碳酸盐岩为主,顶部发育泥岩,且可见泥裂等构造,指示沉积暴露。剖面中,各旋回依次向上逐渐变窄,反映了水体周期式向上变浅的特征。

和州组底部第一旋回灰岩以微晶生物屑灰岩为主,微相类型 MF14,生物屑含量较多,生物种类丰富,含海百合、腕足类、介形虫、海胆、软体动物等。泥质胶结多,亮晶胶结物含量较少,显示其水体尚较深,指示低能稳定的开阔海台地环境。生物种类及数量存在着逐渐减少的过程,指示其水体缓慢变浅直至暴露的过程。

第二旋回底部沉积含生物屑微晶灰岩,微相类型 MF11,颗粒以生物屑为主,含量较少。生物种类比较单一,主要是海百合、有孔虫、双壳类。泥质胶结,几乎不含亮晶胶结物,指示低能稳定的开阔海台地环境,但由于海平面总体变浅,不适宜生物生活;第二旋回上部主要沉积亮晶生物屑灰岩,微相类型 MF5,生物屑含量较多。生物种类丰富,含有孔虫、介形虫、双壳类、海百合、腕足类等。生物屑颗粒外多包裹泥晶套,偶见砂屑、团块,亮晶胶结,泥质成分较少,指示动荡的开阔海台内浅滩环境。

第三旋回主要沉积泥晶灰岩、微晶灰岩,微相类型 MF5、MF2、MF1,含少量或几乎不含生物屑,几乎全部为泥质胶结,中部泥晶、微晶灰岩发育窗格、鸟眼构造,为典型的潮坪相标志^[19]。上部灰岩含有较多陆源石英碎屑,指示向上的局限海台地至潮坪相沉积。

第四旋回主要沉积含少量生物屑的薄层微晶灰岩,微相类型 MF6,生物屑种类单一,含量较少,

主要种类有有孔虫、三叶虫、海百合、腕足类组合,泥质胶结,几乎不见亮晶胶结物,指示稳定的局限海台地环境;第四旋回内部灰岩与泥岩互层,前人研究^[22]表明泥岩为潮坪相沉积,说明本段沉积经历过几次短暂的海退。第四旋回以上主要沉积含陆源石英碎屑的泥晶灰岩,微相类型 MF1,几乎全部为泥晶基质,且含有陆源的石英碎屑颗粒,指示暴露的潮坪相沉积。

第四旋回之上为所观测的第四个半旋回,此处野外观测可见发育炉渣状灰岩,推测为风化淋滤作用形成。

总体而言,和州组第一旋回开始发生了一次海侵,之后海平面有 3 次频繁的升降,但总体向上变浅,在局限海台地相—潮坪相环境之间波动,最终形成稳定的潮坪相沉积环境。在 Mississippian 亚纪末期也出现了短暂的海退,构成石炭系第二个海平面升降旋回^[21]。

3.4 Pennsylvanian 亚纪 Bashkirian—Moscovian 期

黄龙组(C_2h):研究区内缺失老虎洞组地层,黄龙组与下伏和州组为平行不整合接触。黄龙组地层厚达 34.33m,碳酸盐岩微相类型十分复杂。

黄龙组下段微相种类丰富,底部主要微相为 MF7,经过一小段在 MF9、MF12 之间的来回波动之后,微相重新回到 MF7。据此,最底部环境以台地内浅滩为主,且一段时间内相对稳定,然后在台内浅滩—开阔海台地之间有着微弱的波动。

黄龙组下段中部微相类型包括 MF10、MF12、MF11、MF9、MF13 等,间有 MF4、MF5。反映黄龙组下段中部环境仍然是在台地内浅滩相和开阔海台地相之间波动,以开阔海台地环境为主,反映了 Bashkirian—Moscovian 期的海侵。间有一次短暂的海退,环境演变为局限海台地环境,之后快速恢复海侵,转变为开阔海台地环境。在黄龙组下段的顶部可见风化壳,反映了一次较大规模的短暂海退,其程度较之前一次更大。大陆隆升接受剥蚀,但很快又恢复到以开阔海台地内部浅滩环境为主,可见海侵仍然是这一时期环境演变的总趋势。

黄龙组上段海平面稳定,为开阔海台地内部浅滩环境。

晚石炭世海侵是华南地质历史中重大的海侵期之一。江南古陆所有岛屿均沉入水中,华南海与扬子海连成一片,成为统一的南中国海^[21]。因而上述几个碳酸盐岩微相在黄龙组自下而上交替出现,反映出由大塘期进入威宁期后发生的巨大海侵,下

扬子海开始出现均衡的海平面上升。

开阔海台地和台地内浅滩环境的交替出现,总体反映海平面升高的趋势,也体现出石炭纪晚世(黄龙组中下段)海平面周期性的小型波动,海水经历了几次深浅变化的旋回。

黄龙组顶部出现指示局限海台地沉积和潮坪沉积的微相类型,且可见风化壳。反映了 Pennsylvanian 亚纪晚期发生海退,大陆抬升遭受风化剥蚀。

总体而言,黄龙组在沉积初期的大规模海侵作用下沉积了一套台内浅滩相以及开阔海台地相灰岩;中期有小规模周期性海平面波动,并维持在较深的水体之中,发生一次小型海退;末期发生短暂海退,海平面降低,甚至有部分隆起区伸出海面遭受剥蚀。从而构成了石炭系第二个海平面升降旋回^[21]。

3.5 Pennsylvanian 亚纪 Kasimovian—Gzhelian 期—早二叠世 Asselian—Sakmarian 期

船山组(C_2c):船山组与下伏黄龙组平行不整合接触,接触面上发育风化壳,风化壳下见瘤状灰岩,表明威宁后期海退使地体有过短暂的暴露剥蚀。

船山组底部为发育窗格、鸟眼组构的泥晶灰岩、微晶灰岩,微相类型 MF2,含少量或不生物碎屑,几乎全部为泥晶或微晶基质,有的重结晶作用强烈,发育窗格组构或鸟眼构造,指示潮坪沉积。

随着海平面快速上升,在船山组中部沉积了亮晶生物屑灰岩,微相类型 MF10,颗粒以生物屑为主。生物种类丰富,主要为有孔虫、介形虫、双壳类、海百合、腕足类等,生物屑颗粒外表包裹泥晶套,偶见砂屑、团块。亮晶胶结物含量在 20%~40%,泥晶基质约 10%,指示水体动荡的开阔海台地内部浅滩环境,显示了海侵的进一步加大。

之后船山组发生一次短暂的海退,发育潮坪相沉积的泥晶灰岩、微晶灰岩。

船山组顶部发育亮晶核形石灰岩,微相类型 MF8,颗粒以核形石为主,含量约 60%,核形石颗粒较大,外表皮较薄,可见管状结构;还有少量生物碎屑。颗粒之间被亮晶胶结,亮晶胶结物含量约 35%,泥晶基质含量较少,指示动荡的开阔海台地内部浅滩环境,也反映了沉积期末期海平面继续上升的趋势。

本沉积期又发生一次短暂的上升阶段的海退,资料显示,船山组顶部的碳质页岩指示了马平期的自旋回沉积作用,显示其为高水位海退体系^[21]。这

也是石炭系最后一次海平面升降旋回的结束。

总体而言,这一沉积期早期发生石炭纪最大的海侵,从而形成潮坪-台地内浅滩的变化,中间有过一次短暂的海退。到了末期又发生一次上升阶段的海退。

3.6 早二叠世 Asselian - Sakmarian 期

栖霞组(P_1q):栖霞组底部发育梁山煤系,反映潮坪沼泽相沉积,梁山煤系上层发育臭灰岩。

臭灰岩段底部可见含少量生物屑的微晶灰岩,代表微相为 MF6,指示环境为较浅水的局限海台地。往上岩石微相种类丰富,有 MF14、MF12、MF7、MF2 等,其共同特征是含有数量可观的生物屑,指示了水体能量较为稳定、盐度正常、适宜生物生长的开阔海台地环境。

栖霞组上部由潮坪环境到局限海台地环境再到开阔海台地环境的过渡表明,石炭纪结束之后,早二叠世又一次发生海侵,从而形成台地相沉积。

4 结论

石炭纪至早二叠世,本区整体沉积环境为浅水碳酸盐台地相,不存在更远的生物礁以及斜坡沉积。

自石炭纪至早二叠世地壳较为稳定,海平面升降频繁,从而形成了多层次的海侵海退。Tournaisian 期早期海侵,末期快速海退,在金陵组之上沉积了高骊山组的砂泥岩。Visean - Serpukhovian 期整体为向上变浅的海退,但有 4 次较小的周期性海平面升降波动,形成和州组灰岩-泥岩韵律性互层的现象,且波动频率加快,至末期发生短暂海退。Bashkirian - Moscovian 期发生大规模海侵,扬子海与华南海连为一片,晚期发生一次大规模的海退,陆地抬升接受风化。石炭纪末期同样发生大规模海侵,间有小规模海退,之后发生海侵并沉积了船山组特有的核形石灰岩,早二叠世早期又有一次短暂海退,并沉积了二叠纪栖霞组炭质页岩,栖霞组上段灰岩又一次显示了海侵体系的沉积。

致谢

感谢南京大学地球科学与工程学院黄志诚、孔庆友、戴宝章老师和李娟、王兵杰同学对本研究工作给予的帮助,感谢吕璇、马晓丹、张德华、张涛同学在野外采样工作中给予的帮助。

参考文献:

[1] FLÜGEL E, MUNNECKE A. Microfacies of carbonate rocks:

analysis interpretation and application [M]. New York: Springer-Verlag 2010.

- [2] SADOONI F N. Stratigraphic sequence, microfacies and petroleum prospects of the Yamama Formation, Lower Cretaceous, southern Iraq [J]. AAPG Bulletin, 77(11): 1993, 1971 - 1988.
- [3] GEEL T. Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southeastern Spain [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000, 155(3): 211 - 238.
- [4] 林春明, 黄志诚, 刘家润等. 安徽巢湖凤凰山剖面石炭系微相和层序地层特征[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 424 - 433.
- [5] 陈松, 曾勇, 王茵等. 安徽巢北地区下石炭统岩石微相特征[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(3): 13 - 16.
- [6] 张瑛, 陈宏明, 魏乃颐等. 安徽巢湖地区下石炭统沉积特征[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1983, 2: 1 - 26.
- [7] 贾伟, 丁卓, 李壮福等. 安徽巢北早石炭世和州组沉积特征及旋回地层[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(5): 5 - 7 + 12.
- [8] 张瑛, 李耀西, 陈宏明. 中国东南部石炭纪沉积地质及矿产[J]. 火山地质与矿产, 1995, 4(4): 74.
- [9] 张国栋, 朱静昌, 王益友. 对下扬子区五通组沉积的新认识[J]. 中国科学(B辑: 化学、生命科学、地学), 1991, 4(4): 416 - 423.
- [10] 夏广胜, 徐家聪. 安徽巢湖地区早石炭世地层[J]. 地层学杂志, 1980, 2(2): 87 - 95.
- [11] 夏军, 徐家聪. 巢湖地区石炭纪地层格架[J]. 安徽地质, 1998, 3(3): 40 - 46.
- [12] 盛金章. 辽东太子河流域本溪统的蜓科[J]. 中国古生物志新乙种第 7 号, 1958, 57.
- [13] 贵州地层古生物工作队. 西南地区古生物图册贵州分册(二) 石炭纪-第四纪[M]. 贵阳: 地质出版社, 1978, 638.
- [14] 地质部南京地质矿产研究所. 华东地区古生物图册(二) 晚古生代分册[M]. 北京: 地质出版社, 1982, 495.
- [15] 安徽省地质局区域地质调查队. 安徽蜓类化石[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1982, 145.
- [16] 张遵信, 周建平. 中国晚石炭世达拉阶标准剖面的蜓[J]. 古生物学报, 2004, 43(4): 515 - 529.
- [17] 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.
- [18] 冯增昭, 何幼斌, 吴胜和. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 1993, 11(3): 13 - 24.
- [19] 曾允孚. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [20] 韩宗珠, 衣伟虹, 李安龙等. 巢北地区黄龙组岩石学、元素地球化学特征及意义[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(9): 123 - 127.
- [21] 韩宗珠, 衣伟虹, 李安龙等. 巢北地区船山组岩石地球化学及其沉积特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(S1): 312 - 316.
- [22] 侯明金, 齐敦伦, 金义祥. 安徽巢湖凤凰山石炭纪岩石特征及沉积环境分析[J]. 安徽地质, 1998, 3(3): 32 - 39.

Carboniferous – Early Permian carbonate microfacies and sedimentary environments in the Chaohu region , Anhui

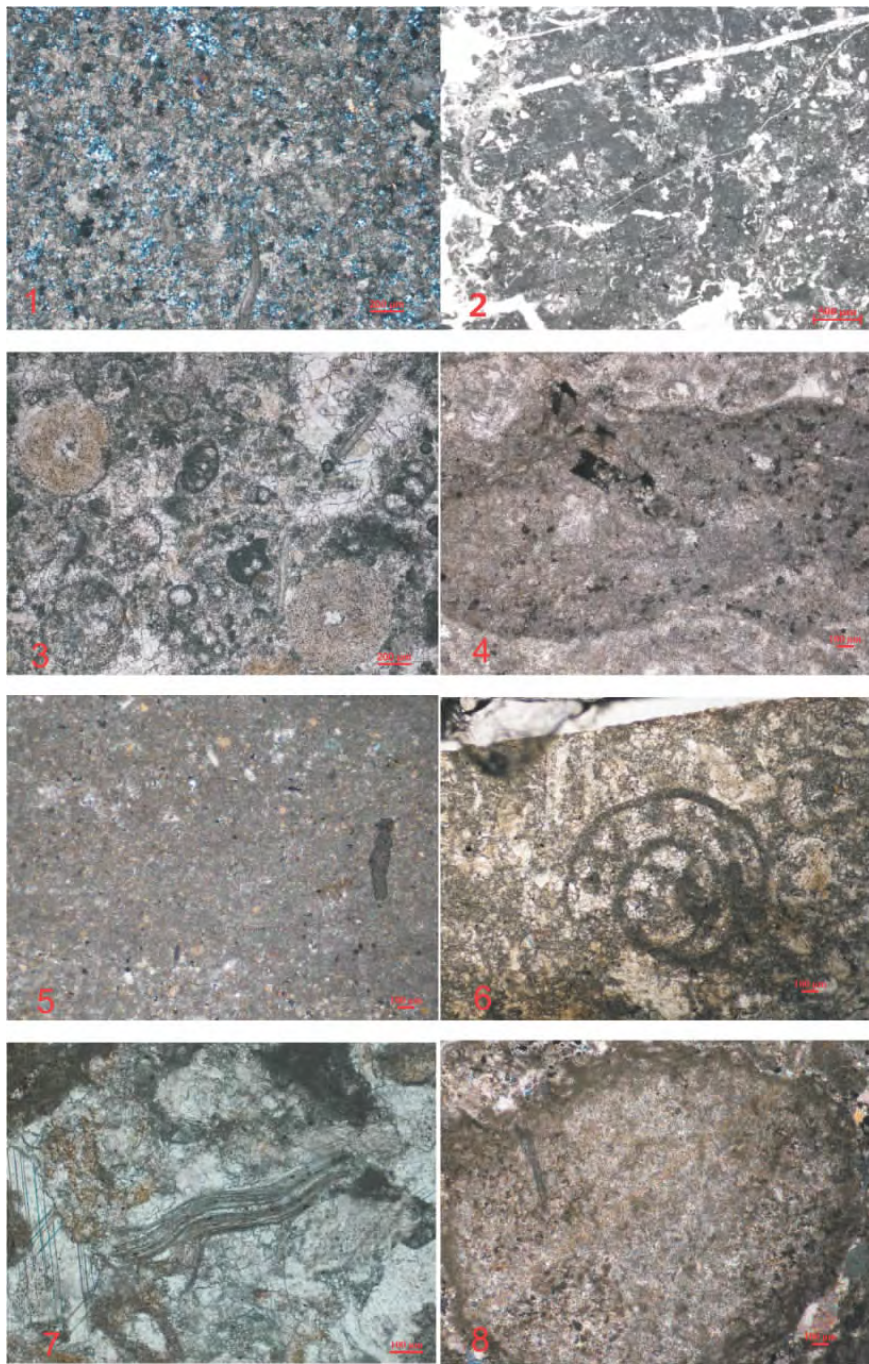
LI Shi-yi , JIANG Di , ZHAO Ying-ying , HU Xiu-mian , SHI Yu-kun

(*School of Earth Sciences and Engineering , Nanjing University , Nanjing 210089 , Jiangsu , China*)

Abstract: In the light of field investigation in recent years , the present paper gives a detailed description of the carbonate strata in the Fenghuanshan section in Chaohu , Anhui , including the Carboniferous Jinling Formation (C_1j) , Hezhou Formation (C_1h) , Huanglong Formation (C_2h) , Chuanshan (C_2c) and stinkstone member in the lowermost part of the Lower Permian Qixia Formation (P_1q) . Fourteen sedimentary microfacies have been distinguished for the carbonate rocks on the basis of thin-section examination of the carbonate rocks , and are involved into the following sedimentary environments: arid coastal evaporate platform (tidal flat) , restricted carbonate platform , intraplatform shoal and open carbonate platform. The results of research in this study show that the Chaohu region in Anhui was once occupied by the shallow marine carbonate platform during the Carboniferous – Early Permian , and went through three large-scale transgression-regression cycles with a number of small-scale sea-level fluctuations.

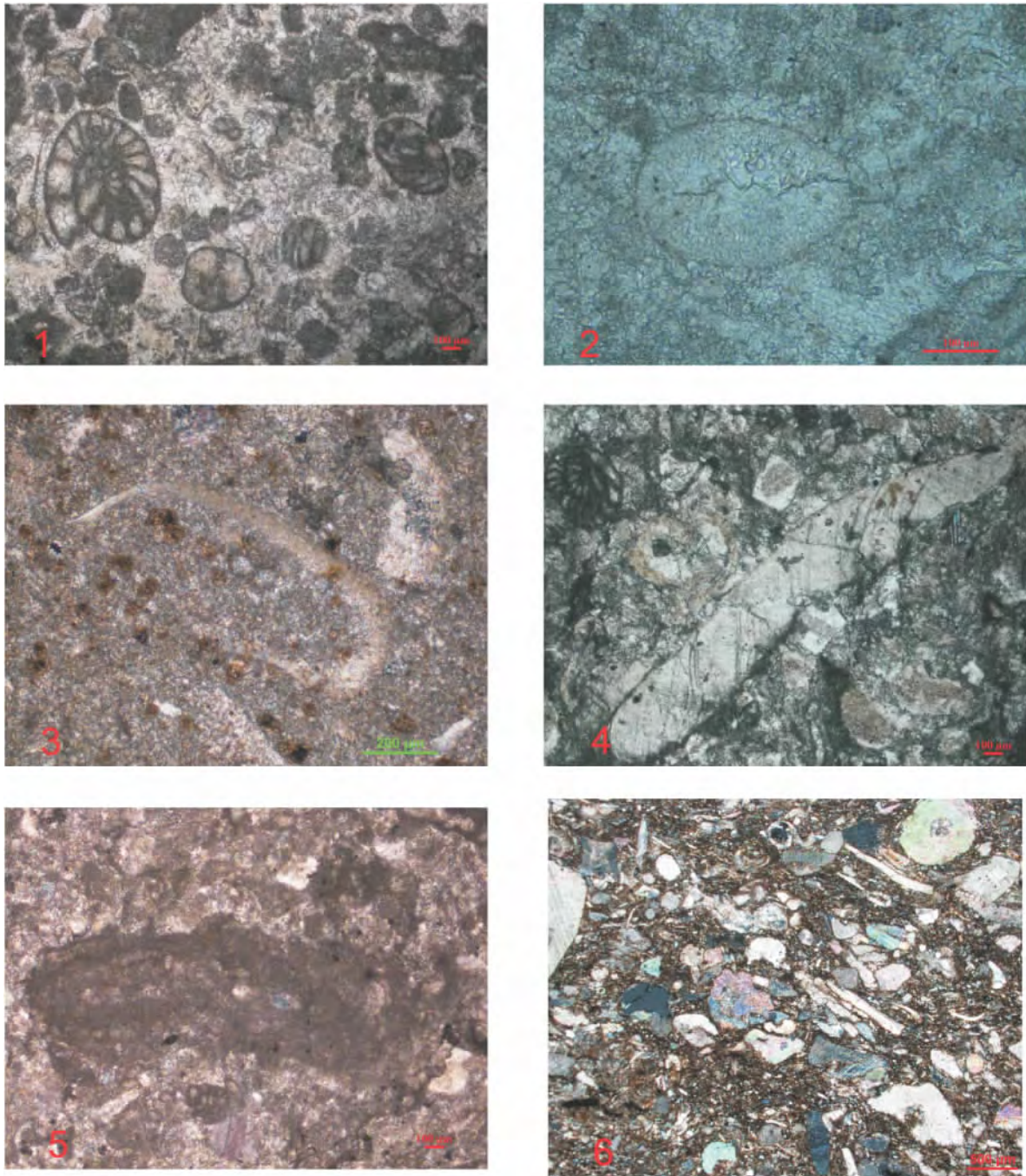
Key words: Anhui; carbonate rock; sedimentary microfacies; sedimentary environment; Carboniferous; Early Permian

图版 I



I-1: MF1, 含石英碎屑的泥晶灰岩、微晶灰岩。正交偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB14, 采自和州组第四旋回。图中几乎不可见生物碎屑, 含有明显的石英碎屑颗粒; I-2: MF2, 发育窗格、鸟眼组构的泥晶灰岩、微晶灰岩。单偏光, $\times 2.5$ 样品编号: 12CB41, 采自黄龙组。图中可见泥晶基质含量丰富, 有明显的窗格构造; I-3: MF3, 含亮晶的生物屑微晶灰岩。单偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB13, 采自和州组第四旋回。图中生物碎屑为海百合茎以及数量较多的有孔虫, 可见生物屑周边有数量可观的亮晶胶结物, 指示了一定强度的水体能量; I-4: MF4, 泥晶颗粒灰岩。单偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB34, 采自黄龙组。图中为一大颗粒团块, 不规则状近椭圆形; I-5: MF5, 泥晶灰岩、微晶灰岩。正交偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CH24, 采自黄龙组。图中几乎仅可见泥晶基质; I-6: MF6, 含少量生物屑微晶灰岩。单偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB11, 采自和州组第四旋回。图中见保存比较完整的有孔虫颗粒, 基质重结晶较为明显; I-7: MF7, 含亮晶的含生物屑微晶灰岩。单偏光, $\times 10$ 样品编号: 12CB19, 采自黄龙组。可见腕足碎屑, 微晶基质分布不均匀, 图中可见数量可观的胶结物, 反映了一定程度的淘洗作用, 指示了一定程度的水动力条件; I-8, MF8, 亮晶核形石灰岩。正交偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB48, 采自船山组。图为一核形石, 粒径 1.5mm 左右, 边缘可见典型的藻类的管状结构。

图版 II



II-4: MF9, 亮晶颗粒灰岩、亮晶砂屑灰岩。正交偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB17, 采自黄龙组。图中生物屑颗粒主要为有孔虫, 也可见较小的砂屑颗粒散乱分布, 无固定形状, 颗粒之间填充了亮晶胶结物; II-2: MF10, 亮晶生物屑灰岩。单偏光, $\times 20$ 样品编号: 12CB22, 采自黄龙组。图中可见一介形虫颗粒, 周围为亮晶胶结物; II-3: MF11, 含生物屑微晶灰岩、微晶灰岩。正交偏光, $\times 10$ 样品编号: 12CB08, 采自和州组第一旋回。图中可见一介形虫颗粒, 周围为微晶基质, 有轻微的重结晶, 基质中可见少量后期形成的亮晶; II-4: MF12: 生物屑微晶灰岩、泥晶灰岩。单偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB18, 采自黄龙组。图中正中为一腕足类化石颗粒, 周围可见零星散布的海百合碎片, 以及有孔虫的化石, 可见生物颗粒被微晶基质所包裹; II-5: MF13, 生物屑微晶灰岩、泥晶灰岩。正交偏光, $\times 5$ 样品编号: 12CB35, 采自黄龙组。图正中可见一团块, 大小 $500\mu\text{m}$ 左右, 边缘见疑似藻类管状结构。图中还可见海百合茎以及有孔虫小颗粒; II-6: MF14, 微晶生物屑灰岩。正交偏光, $\times 2.5$ 样品编号: 12CB01, 采自金陵组。可见丰富的腕足类、海百合以及介形虫的碎屑, 被泥晶基质所包裹