

贵州习水中二叠统栖霞组有孔虫形态群及 沉积微相特征

刘家乐¹, 徐胜林^{2*}, 陈延贵³, 郝毅⁴, 庞谦¹, 陈安清²,
雍伟⁵, 李雯²

1. 成都理工大学 地球与行星科学学院, 成都 610059;
2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 成都 610059;
3. 中国石油西南油气田公司 勘探开发研究院, 成都 610041;
4. 中国石油杭州地质研究院, 杭州 310023;
5. 四川省容大矿业集团有限公司, 成都 610123

[摘要] 四川盆地中二叠统栖霞组是近年来中国海相地层油气勘探领域的热点层系,但其沉积模式一直存在争议。选取四川盆地南部栖霞组出露较好的贵州省遵义市习水县温水剖面,通过薄片鉴定,识别出有孔虫 22 属 48 种(含亚种、未定种),并将其划分为 M1~M6 共 6 个有孔虫形态群。基于薄片下观察到的岩石结构划分出含钙藻粒泥灰岩、生物潜穴灰泥岩、生屑破碎的粒泥灰岩、生屑密集堆积的泥粒灰岩、含有孔虫泥粒灰岩、有孔虫-钙藻泥粒灰岩、含粗枝藻碎屑泥粒灰岩、含粪粒泥灰岩、均质无化石灰泥岩、似球粒颗粒灰岩、有孔虫-粗枝藻颗粒灰岩、有孔虫-翁格达藻颗粒灰岩共 12 种沉积微相。贵州习水地区栖霞组发育陆棚相、斜坡相及开阔台地相,总体上处于非镶边碳酸盐岩台地环境。通过钙藻类型及组合可将开阔台地相进一步划分为台内滩、浅水开阔台地及较深水开阔台地亚相。台内滩亚相含丰富的形态群 M3c、M4、M5、M6 分子,浅水开阔台地亚相与较深水开阔台地亚相均可见较丰富的形态群 M3a 及 M3b 分子,二者以是否含有粗枝藻类钙藻进行区分。

[关键词] 栖霞组; 四川盆地; 沉积微相; 有孔虫形态群; 非镶边碳酸盐岩台地

[分类号] P534.46

[文献标志码] A

Foraminifera morphogroups and carbonate microfacies in the Middle Permian Qixia Formation in Xishui, Guizhou Province

LIU Jiale¹, XU Shenglin^{2*}, CHEN Yangui³, HAO Yi⁴, PANG Qian¹,
CHEN Anqing², YONG Wei⁵, LI Wen²

1. College of Earth and Planetary Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

收稿日期: 2024-11-27; 改回日期: 2025-02-05。 责任编辑: 黄维婷。

基金项目: 国家科技重大专项(2025ZD1400403); 国家自然科学基金(42172132)。

第一作者: 刘家乐(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 沉积学与层序地层学, E-mail: 2775614602@qq.com。

*通信作者: 徐胜林(1981—), 男, 副教授, 研究方向: 沉积学与层序地层学, E-mail: xusheng218@163.com。

引用格式: 刘家乐, 徐胜林, 陈延贵, 等, 2026. 贵州习水中二叠统栖霞组有孔虫形态群及沉积微相特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 53(3): 477—493.

Liu J L, Xu S L, Chen Y G, et al., 2026. Foraminifera morphogroups and carbonate microfacies in the Middle Permian Qixia Formation in Xishui, Guizhou Province[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 53(3): 477—493.

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610041, China;

4. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou 310023, China;

5. Sichuan Rongda Mining Group Co., Ltd., Chengdu 610123, China

Abstract: In recent years, the Middle Permian Qixia Formation in the Sichuan Basin has attracted considerable attention for oil and gas exploration, but its sedimentary model remains highly controversial. In this study, 48 species in 22 genera (including subspecies and indeterminate species) of foraminifera were identified in the well-outcropped Wenshui section in Xishui, Guizhou Province, and divided into six morphogroups (M1–M6). Based on the study of thin-section rock structure, 12 types of microfacies were recognized: coralline algae wackstone, burrow mudstone, bioclastic wackstone, densely packed bioclastic packstone, foraminifera packstone, foraminifera coralline algae packstone, dasycladale bioclastic packstone, fecal pellet wackstone, non-fossil mudstone, peloid grainstone, foraminifera dasycladale grainstone, and foraminifera *Ungdarella* grainstone. The Qixia Formation in Xishui, Guizhou Province is mainly a carbonate platform without rims, in which a continental shelf, slope, and open platform facies developed. The open platform facies can be divided into shallow open platform subfacies, deep open platform subfacies, and platform shoals subfacies. The platform shoals subfacies contain abundant M3c, M4, M5, and M6 morphogroup foraminifera, shallow open platform subfacies, and deep open platform subfacies containing abundant M3a and M3b morphogroup foraminifera; however, the deep open platform subfacies lack *Dasycladales*.

Key words: Qixia Formation; Sichuan Basin; microfacies; foraminifera morphogroup; carbonate platform without rims

四川盆地二叠纪海相地层的油气勘探历史最早可追溯至 20 世纪 60 年代, 栖霞组作为中二叠统主力产层之一, 近年来在油气及相关领域一直是研究热点(梁茹等, 2021; 刘文栋等, 2021; 唐顺成等, 2023)。碳酸盐岩沉积相及沉积模式的研究能够为沉积环境及区域岩相古地理的分析工作提供依据, 对于寻找储层发育的有利区带有着重要意义。20 世纪 90 年代, 中国学者便已经以整个华南板块二叠系为研究对象进行了沉积模式的探讨。冯增昭等(1996)认为在栖霞期华南广大地区为浅水碳酸盐岩台地, 在中北部和中东部为深水台地, 在西部、西南部和南部存在深水盆地; 陈洪德等(1999)基于层序地层学的研究, 则认为华南地区栖霞组总体上应为碳酸盐岩缓坡。这 2 种观点均得到了很多研究者的支持并应用于对四川盆地栖霞组的沉积相划分工作中(黄先平等, 2004; 胡明毅等, 2010; 张运波, 2011; 赵宗举等, 2012)。而在近十几年来的研究中, 一些学者则提出了兼具台地与缓坡特征的缓坡型碳酸盐台地模式(张廷山等, 2011; 杨巍等, 2014; 梁宁等, 2016; 罗兰等, 2017), 由此可见, 四川盆地栖霞组的沉积模式仍有争议。另一方面, 目前对四川盆地栖霞组沉积模式、沉积环境等

展开的研究通常采用沉积微相分析、元素地球化学分析、测井数据分析等方法, 对于岩石中所含的古生物类型缺乏深入探讨, 若针对某一门类古生物展开古环境、古生态系统等研究, 也许能够为沉积环境分析提供有益补充。

有孔虫作为海洋环境中十分常见的单细胞原生动物, 对古环境、古气候重建工作具有重要意义(Flügel, 2010; 张木辉, 2015); 但由于不同海域及不同地质历史时期所导致的生物群系差异, 直接引用其他地区或不同时代的有孔虫研究成果可能会导致解释误差(Nagy, 1992; 刘芳和向荣, 2010; 彭毅峰和李红, 2020), 因此, Jones and Charnock(1985)提出利用形态群来对底栖有孔虫进行群组划分, 进而研究古生态及古环境。目前利用形态群对古环境、古生态系统的讨论主要集中于中生代至现代海洋(Nagy, 1992; Kaminski et al., 2005; Reolid et al., 2012; Saalim et al., 2019), 近年来也逐渐有学者尝试将其应用于古生代地层中(Holcová and Slavík, 2013; 张木辉, 2015; 彭毅峰和李红, 2020; 孟琦, 2022)。

四川盆地栖霞组长期以来有孔虫研究成果较少, 且讨论的主题多聚焦于有孔虫动物群组成及生物地层对比方面(张舟等, 2011; 刘正元等,

2020; 罗冰等, 2024), 缺乏基于有孔虫形态群证据展开的古环境讨论。基于以上研究现状, 本次研究选取四川盆地南部贵州省遵义市习水县温水剖面, 结合有孔虫形态群特征及沉积微相研究, 尝试为该组栖霞组沉积环境解释及沉积相划分提供新的证据。

1 地质概况

扬子板块在二叠纪时期位于赤道附近, 西部、北部毗邻古特提斯洋(图 1-A), 东南为华夏板块, 两者之间由江南盆地和右江盆地相隔(吴汉宁等, 1998; Huang et al., 2018)。四川盆地位于扬子板块西北侧, 西侧以松潘—甘孜褶皱带和龙门山冲断带为界, 北侧以米仓山—大巴山冲断带为界, 东侧以齐岳山断裂和黔渝湘鄂隔槽式褶皱带为界, 西南侧以川滇南北构造带为界, 整体上呈北东向长轴的菱形地貌(刘树根等, 2011)。

最新的中国二叠纪综合地层划分方案将梁山组作为乌拉尔世亚丁斯克期晚期海侵的产物, 与上覆栖霞组呈整合接触关系, 与下伏不同时期地层呈不整合或假整合接触关系, 栖霞组为乌拉尔世空谷期产物, 在过去曾被提升为亚统, 可分为罗甸阶和祥播阶(沈树忠等, 2019)。

在梁山组沉积前, 四川盆地及邻区受加里东运动及早海西运动 2 期构造抬升影响, 总体上形成了西南高、东北低的古地理背景, 经历了长期的剥蚀夷平作用, 下二叠统地层普遍缺失(周进高等, 2016; 杨帅等, 2021)。亚丁斯克期晚期发生海侵, 海水由多个方向侵入四川盆地(陈洪德等, 1999; 陈宗清, 2009)形成具有穿时性质的梁山组滨岸沼泽相沉积(汤艳玲等, 2024), 随海侵范围扩大, 海平面相对上升, 向上逐渐过渡为栖霞组碳酸盐岩沉积, 除康滇古陆、大巴山古陆及龙门山古岛链外, 全区均被海水所淹没(陈宗清, 2009)。

本次研究的剖面位于贵州省遵义市习水县温水镇以东约 9 km 处、S302 公路南侧(图 1-B), 交通便利、路况良好, 栖霞组地层出露完整, 顶底界线清晰。栖霞组总厚约 171.27 m, 底部为深灰色中—厚层状泥晶生屑灰岩及生屑泥晶灰岩, 夹薄层状泥灰岩, 向上转变为灰色—深灰色厚层状、块状泥晶灰岩, 近顶部出现浅灰色亮晶生屑灰岩, 顶部为灰黑色厚层状泥晶生屑灰岩。下伏梁山组为灰黑色泥岩, 与栖霞组整合接触(图 1-C), 上覆茅口组为灰黑色中层状含泥质条带泥晶灰岩, 与栖霞组亦为整合接触(图 1-D)。

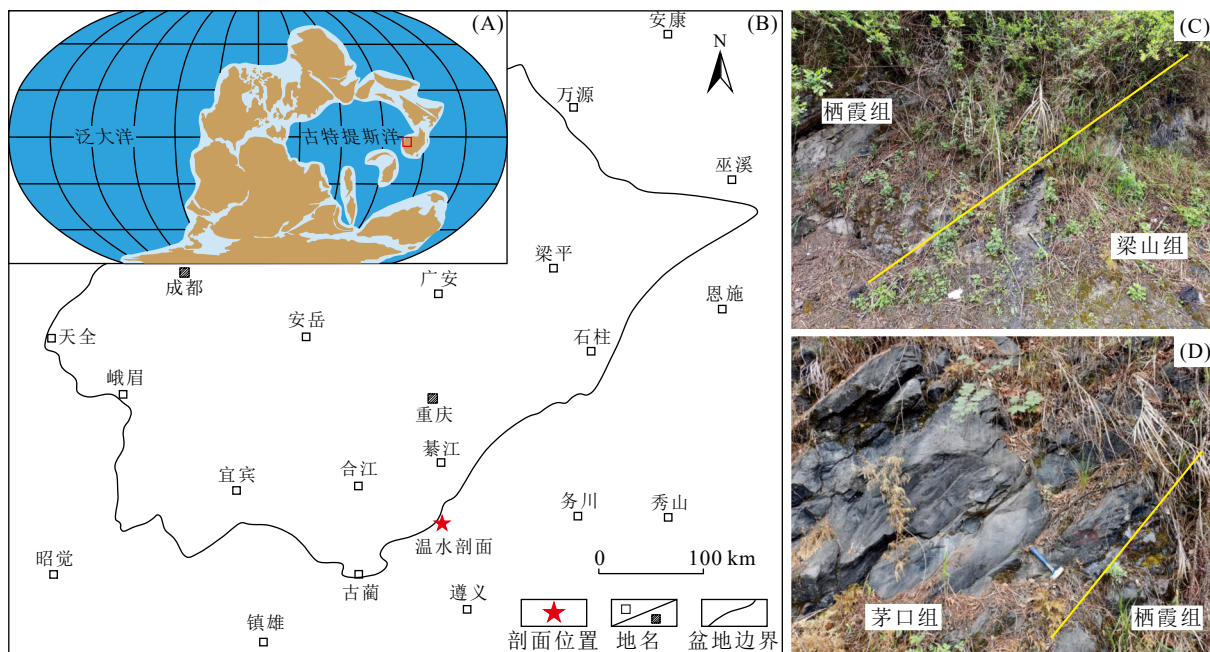


图 1 四川盆地中二叠时期古地理、温水剖面位置及露头照片

Fig. 1 Middle Permian paleogeography of the Sichuan Basin, location map, and an outcrop in the Wenshui section

(A) 四川盆地中二叠时期古地理位置(红色方框所示; 据 Huang et al., 2018 修改); (B) 温水剖面及周边城市位置; (C) 温水剖面梁山组—栖霞组界线; (D) 温水剖面栖霞组—茅口组界线

2 温水剖面有孔虫动物群特征

2.1 有孔虫属种及分布特征

本次研究共识别出有孔虫 22 属 48 种(含亚种、未定种, 见图 2 和图 3), 分别属于 Endothyridina (内卷虫亚目)、Textulariina (串珠虫亚目)、Miliolina (小栗虫亚目)、Rotaliina (轮虫亚目) 及 Fusulinina (蜒亚目), Allogromiina (网足虫亚目) 类有孔虫在本次研究中并未发现。

从属种及化石数量上来看, Endothyridina 类有孔虫最为丰富, 共识别出 10 属 24 种(含亚种、未定种); 其次为 Rotaliina 类及 Miliolina 类有孔虫, 分

别识别出 6 属 13 种及 3 属 6 种(含亚种、未定种); Textulariina 类有孔虫十分单一, 仅发现 1 属 4 种(含未定种); Fusulinina 类有孔虫较为少见且矿化严重, 仅 2 属 2 种(含未定种), 各亚目有孔虫属及数目占比见图 4。

基于剖面岩石沉积微相分析, 将温水剖面栖霞组划分为 31 个小层。剖面下部(第 1~6 小层)有孔虫属种十分丰富, 见 *Eotuberitina reitlingerae* A.M.-Maclay, *Neotuberitina maljavkini* (Mikhailov), *Neotuberitina sympetala* Xu, *Tuberitina globosa* Xu, *Tetrataxis* sp., *Globivalvulina* sp., *Globivalvulina laxa* Lin, Li et Sun, *Neoendothyra permica* (Lin), *Plectogyra*

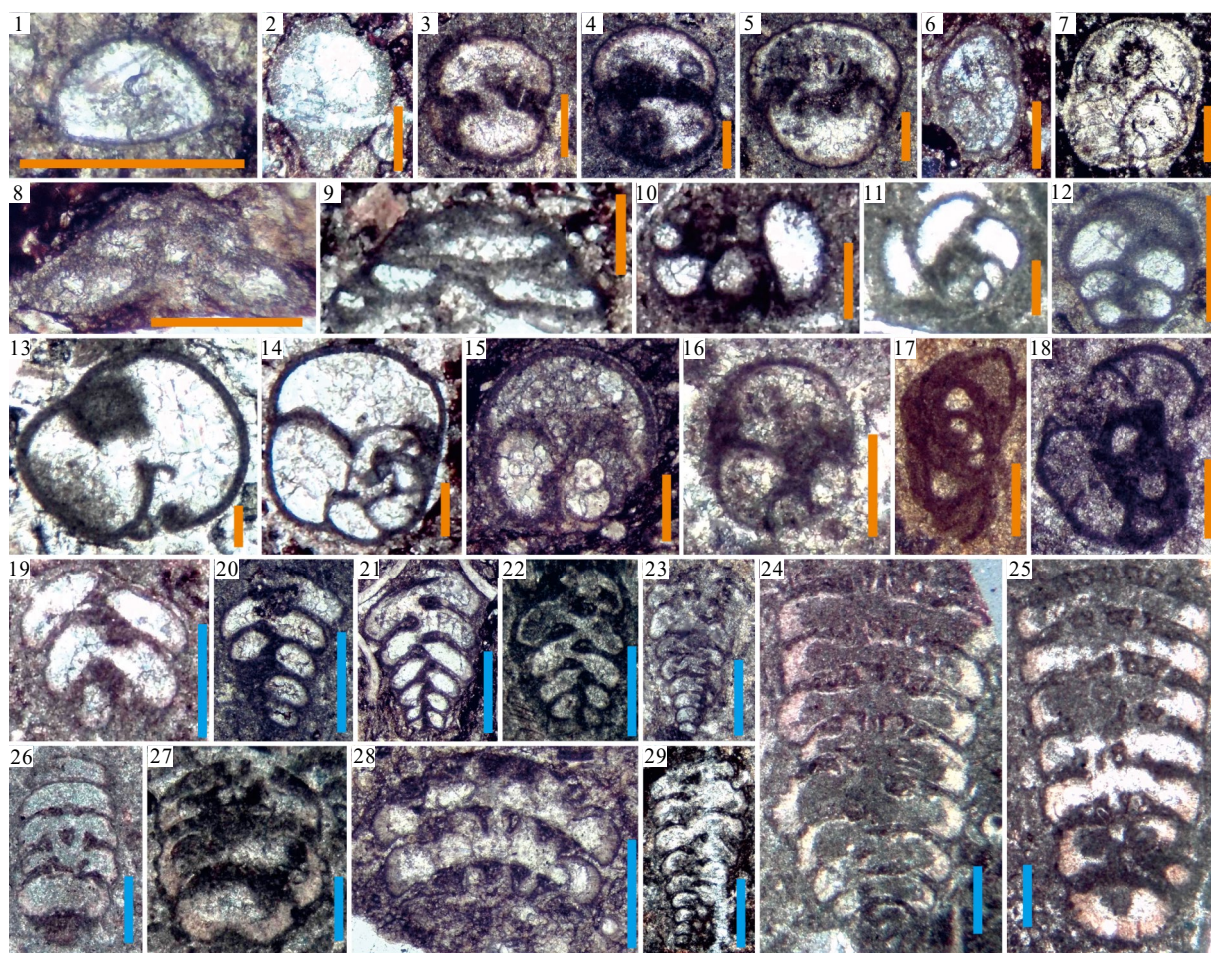


图 2 温水剖面栖霞组有孔虫化石(1)

Fig. 2 Foraminifera from the Qixia Formation in the Wenshui section (1)

注: 1. *Eotuberitina reitlingerae* A.M.-Maclay; 2. *Neotuberitina maljavkini* (Mikhailov); 3~5. *Neotuberitina sympetala* Xu; 6~7. *Tuberitina globosa* Xu; 8~9. *Tetrataxis* spp.; 10. *Globivalvulina kantharensis* Reichel; 11. *Globivalvulina qinghaiensis* Xu; 12. *Globivalvulina* sp.; 13~14. *Globivalvulina globosa* Wang; 15. *Globivalvulina laxa* Lin, Li et Sun; 16. *Globivalvulina bulloides* (Brady); 17. *Neoendothyra permica* (Lin); 18. *Plectogyra* sp.; 19. *Palaeotextularia* sp.; 20. *Palaeotextularia bella* Lipina; 21. *Palaeotextularia acuta* Xu; 22. *Palaeotextularia brevissepta* Lipina; 23. *Climacammina* sp.; 24. *Climacammina huanjiangensis* Lin; 25. *Cribrogenerina celebrata* Lin; 26. *Cribrogenerina cf. nana* Lin; 27. *Cribrogenerina obesa* Lange; 28. *Cribrogenerina*? sp. (存疑); 29. *Crirostomum* sp.; 橙色比例尺 200 μm; 蓝色比例尺 400 μm。

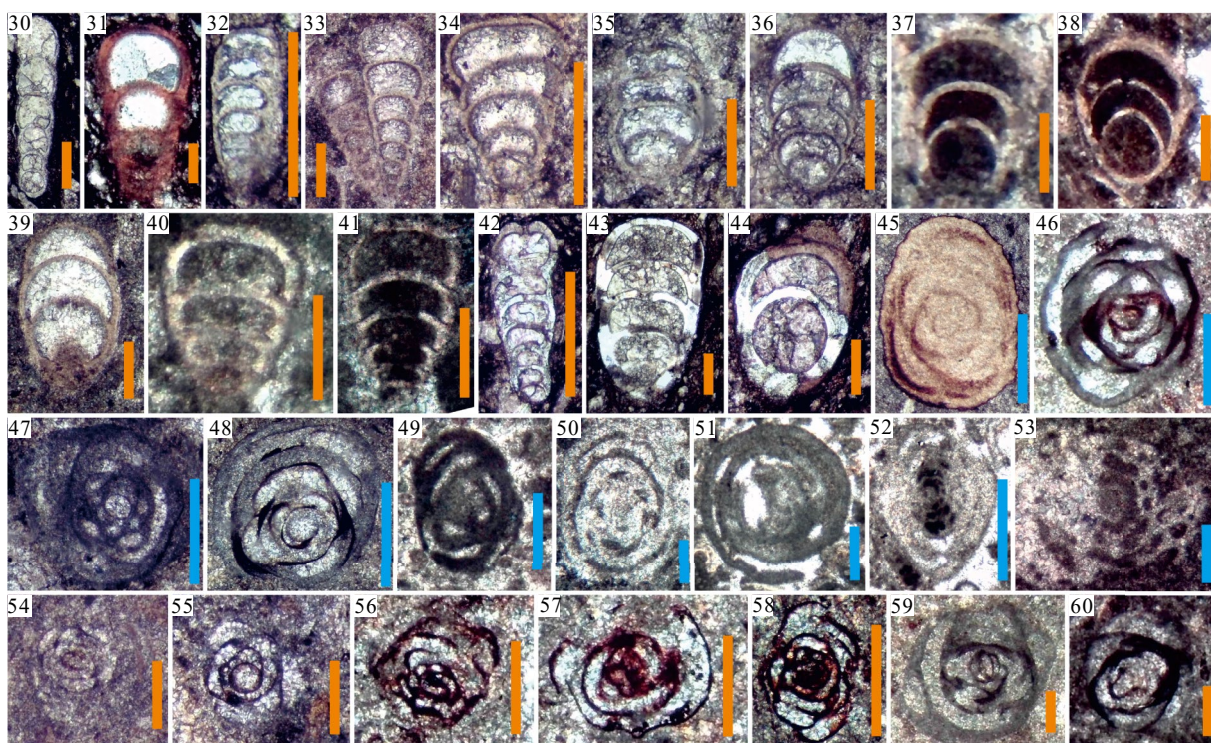


图 3 温水剖面栖霞组有孔虫化石(2)

Fig. 3 Foraminifera from the Qixia Formation in the Wenshui section (2)

注: 30. *Nodosaria wjatensis* Tcherdynzev; 31. *Nodosaria lixianensis* Lin, Li et Sun; 32. *Nodosaria netschajewi subquadrata* Lipina; 33. *Nodosaria acera* K.M.-Maclay; 34. *Nodosaria aceraeformis* Lin, Li et Zheng; 35~36. *Pseudoglandulina* spp.; 37~38. *Fronidularia ovalis* Xu; 39. *Fronidularia miaolingensis* Xu; 40~41. *Geinitzina* spp.; 42. *Langella imbecilla* Lin, Li et Sun; 43. *Langella perforata* (Lange); 44. *Langella brevis* Xu; 45~46. *Hemigordius* spp.; 47~48. *Hemigordius lianxianensis* (Hao et Lin); 49. *Agathammina* sp.; 50. *Hemigordiopsis* sp.; 51. *Hemigordiopsis renzi* Reichel; 52. *Nankinella hunanensis* (Chen); 53. *Pisolina* sp.; 54. *Glomospira* sp.; 55. *Glomospira gordialis* (Jones et Parker); 56~58. *Glomospira tenuifistula* Ho; 59~60. *Glomospira vulgaris* Lipina; 橙色比例尺 200 μm ; 蓝色比例尺 400 μm 。

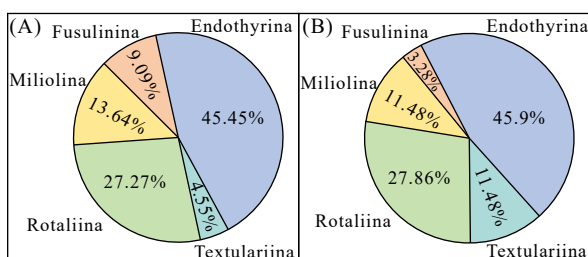


图 4 各亚目有孔虫属及数量占比

Fig. 4 Genus and number proportion of foraminifera in each suborder

(A)各亚目有孔虫所含属占比;(B)各亚目有孔虫数量占比

sp., *Palaeotextularia bella* Lipina, *Palaeotextularia acuta* Xu, *Criboenerina cf. nana* Lin, *Criboerium* sp., *Nodosaria wjatensis* Tcherdynzev, *Nodosaria netschajewi subquadrata* Lipina, *Nodosaria acera* K.M.-Maclay, *Nodosaria aceraeformis* Lin, Li et Zheng,

Pseudoglandulina sp., *Fronidularia miaolingensis* Xu, *Langella imbecilla* Lin, Li et Sun, *Langella perforata* (Lange), *Langella brevis* Xu, *Glomospira* sp., *Glomospira gordialis* Jones et Parker。其中 *Neotuberitina*、*Eotuberitina*、*Tuberitina*、*Plectogyra*、*Langella*、*Neoendothyra*、*Criboerium* 等属有孔虫均只在本段发现,

数量方面本段发现的有孔虫占总数的 45.9%。剖面中部(第 7~17 小层)有孔虫较为少见,见 *Palaeotextularia* sp., *Climacammina* sp., *Nodosaria lixianensis* Lin, Li et Sun, *Pseudoglandulina* sp., *Hemigordius* spp., *Hemigordius lianxianensis* (Hao et Lin), *Pisolina* sp., *Glomospira vulgaris* Lipina, 数量方面本段发现的有孔虫占总数的 16.4%。

剖面上部(第 18~31 小层)有孔虫较为丰富,见 *Tetrataxis* sp., *Globivalvulina kantharensis* Reichel, *Globivalvulina qinghaiensis* Xu, *Globivalvulina glob-*

osa Wang, *Globivalvulina bulloides* (Brady), *Palaeotextularia brevissepta* Lipina, *Cribrogenerina celebrata* Lin, *Cribrogenerina obesa* Lange, *Fronicularia ovalis* Xu, *Geinitzina* spp., *Hemigordius* sp., *Agathammina* sp., *Hemigordiopsis* sp., *Hemigordiopsis renzi* Reichel, *Nankinella hunanensis* (Chen), *Glomospira tenuifistula* Ho。在第 21 小层发现一个保存较差的小有孔虫个体,晚期房室发育筛状口孔,但早期房室缺失,无法进一步判断其为 *Cribrogenerina* 还是 *Climacammina*,暂定为 *Cribrogenerina*。上述有孔虫中, *Geinitzina*、*Agathammina*、*Hemigordiopsis* 及 *Nankinella* 仅在本段发现,数量方面本段发现的有孔虫占总数的 37.7%。

2.2 生物地层对比

栖霞组作为空谷期海侵持续发展的产物,在中国华南地区广泛发育,长期以来很多研究者都将其划分为 3 个蠕带:下部 *Misellina claudiae* 带、中部 *Nankinella orbicularia* 带和上部 *Cancellina - Parafusulina multiseptata* 带(郝诒纯和林甲兴, 1982; 徐炳川, 2006)。在部分紫松阶至罗甸阶为连续碳酸盐岩沉积的地区, *Misellina claudiae* 带下还短暂发育有 *Brevaxina* 带(王玥等, 2023)。在华南其他地区,由于梁山组的沉积存在穿时性,部分地区栖霞组 *Misellina claudiae* 带之下可能会短暂发育 *Pseudoendothyra discalis* 带、*Staffella* 带等非 *Misellina* 的蠕带(周祖仁, 1982; 杨湘宁, 1989; 王玥等, 2023)。四川盆地栖霞组的蠕有孔虫面貌与华南其他地区存在一定差异,朱利东等(1997)基于川北曾家地区二叠系-下三叠统的研究,将栖霞组划分为 *Nankinella lata - Pisolina staffellinoides* 带;刘正元等(2020)基于对川西北地区猫儿塘剖面二叠系的研究,认为栖霞组底部为 *Staffella - Nankinella* 带;罗冰等(2024)基于川南三道水剖面的研究,认为栖霞组底部为 *Nankinella* 带,可见四川盆地栖霞组相较于华南其他地区,缺失

Misellina 带。

小有孔虫组合方面,华南不同地区表现出了较大差异:郝诒纯和林甲兴(1982)在对广东、广西、湖南、湖北地区二叠系的研究中,将栖霞组划分为下部 *Hemigordius decorus - Multidiscus pygmaeus* 组合及上部 *Eolasioidiscus - Nodiscus maopingensis* 组合;李芝君和王大锐(1985)将浙江省桐庐县瑶琳地区栖霞组划分为下部 *Globivalvulina - Glomospira* 组合及上部 *Pachyphloia - Geinitzina* 组合;王克良(1988)在对江苏、安徽、湖南、四川等地 20 多条剖面进行研究后,发现 *Langella* 分子大量出现的层位在 *Misellina claudiae* 带之下,主张以 *Langella* 的大量出现作为栖霞期的开始;林甲兴等(1990)则将栖霞组下部总结为 *Neodiscus decorus - Langella perforata* 组合,上部为 *Pseudovidalina delicata - Langella lepida - Neodiscus maopingensis* 组合;张舟等(2011)基于对川西北广元王家沟剖面栖霞组有孔虫的研究,建立了 *Globivalvulina* 组合。

本次研究在栖霞组下部发现了属种及数量均十分丰富的小有孔虫,但湖南、湖北、广东、广西及浙江省桐庐县瑶琳地区具代表性的 *Hemigordius*、*Multidiscus* 等不丰富或缺失,且 *Globivalvulina*、*Glomospira* 等分子未占优势地位。在剖面近底部(第 4 小层)发现了包括 *Langella perforata* 在内的 *Langella* 分子,这与王克良(1988)、林甲兴等(1990)的观点较为一致,因而建立 *Langella perforata* 组合(表 1),该组合除具代表性的 *Langella* 分子外,还可见丰富的 *Tuberitinae* (瘤虫亚科)及 *Nodosaria* 分子;剖面中部有孔虫化石较稀少, *Glomospira* 及 *Hemigordius* 相对丰富,因而建立 *Glomospira - Hemigordius* 组合,与郝诒纯和林甲兴(1982)、李芝君和王大锐(1985)的观点具有一定相似性;剖面上部 *Globivalvulina* 属种及数量均较为丰富,因而建立 *Globivalvulina* 组

表 1 华南地区栖霞组蠕带及小有孔虫组合对比

Table 1 Comparison of foraminiferal assemblages in the Qixia Formation of South China

文献来源	郝毅纯和林甲兴, 1982	李芝君和王大锐, 1985	林甲兴等, 1990	张舟等, 2011	本文
小有孔虫组合	<i>Eolasioidiscus - Neodiscus maopingensis</i>	<i>Pachyphloia - Geinitzina</i>	<i>Pseudovidalina delicata - Neodiscus maopingensis</i>	<i>Globivalvulina</i>	<i>Globivalvulina</i>
	<i>Hemigordius decorus - Multidiscus pygmaeus</i>	<i>Globivalvulina - Glomospira</i>	<i>Neodiscus decorus - Langella perforata</i>		<i>Glomospira - Hemigordius</i>
					<i>Langella perforata</i>

合,与张舟等(2011)的观点具有一定对比性。

3 有孔虫形态群特征

有孔虫形态群最早由 Jones and Charnock(1985)等人基于对东北大西洋现代有孔虫的研究提出,这种研究方法不是通过有孔虫壳质组分、壳壁结构、房室数目及排列方式等,而是通过将底栖有孔虫的壳体形态、位置生活及摄食方式等联系起来进行群组划分,进而对古环境进行研究,这种研究方法可以一定程度上减少因生物进化导致的分类学差异(Nagy, 1992)。在形态群提出以前,中外研究者也曾初步讨论过有孔虫形态与所处环境的关系(Bandy, 1960; 王立亭等, 1982; 杨振强和林甲兴, 1983),形态群则是对有孔虫形态-古环境关系进行更系统的整理与研究,并使得形态群模型在不断完善的过程中能够适用于不同年代、不同环境。

本文参考前人建立的有孔虫形态群模型(张木辉, 2015; 彭毅峰和李红, 2020; 彭毅峰, 2021;

孟琦, 2022),将温水剖面所识别出的有孔虫划分为 M1~M6 共 6 个形态群,各形态群有孔虫的形态特征、生活方式、摄食方式、所含属及指示环境如图 5 所示。

形态群 M1 以 Tuberitinae 分子为主,本次研究共识别出 3 属 4 种,集中在剖面下部 2~6 层。该形态群有孔虫房室数量少、结构简单,多为球形、半球形或近卵形。在前人建立的有孔虫形态群模型中, Eotuberitina、Neotuberitina 均作为灾难分子或机会种,在环境恶化或突变、不适合大部分有孔虫生存时能够快速占据优势地位(彭毅峰, 2021; 孟琦, 2022)。由于此前在华南其他地区栖霞组有孔虫的研究中并未发现 Eotuberitina、Neotuberitina 等分子的广泛富集,因此本剖面下部这些灾难分子的富集只指示了栖霞组沉积初期局部环境的短暂恶化,生物地层对比意义有限。

形态群 M2 整体上以单列多房室壳体为主,基于其房室数量、壳体长度、壳壁厚度等要素,可将其进一步划分为 M2a~M2d。M2a 以

壳质	形态群		形态	生活方式	摄食方式	所含属及图例	指示环境
钙质	M1		球形、半球形、近卵形,结构简单	外生附着植物	摄食悬浮物摄食,食植,食沉积物碎屑	<i>Eotuberitina</i> <i>Tuberitina</i> <i>Neotuberitina</i> 	灾难分子,环境适应力极强
	M2	M2a	单列多房,壳体细长或呈圆锥状	浅内生-深内生	摄食沉积物,食植,食细菌	<i>Nodosaria</i> 	可适应深水低能、中等-贫营养环境,耐缺氧环境
		M2b	单列多房,壳体卵圆或近圆锥状	浅内生-深内生	摄食沉积物,食植,食细菌	<i>Pseudoglandulina</i> 	可适应低能、中等-贫营养环境
		M2c	单列多房,拉长卵圆至纺锤状	浅内生-深内生	摄食沉积物,食植,食细菌	<i>Fronicularia</i> <i>Geinitzina</i> 	适应性较强,浅水高能-深水环境
		M2d	单列多房,拉长卵圆或近圆锥状,壳壁厚	浅内生或底表附着	滤食,食植,食碎屑	<i>Langella</i> 	适应浅水动荡、富营养环境
	M3	M3a	近球形,管状第二房室不规则绕旋	外生附着	食植,食沉积物碎屑	<i>Glomospira</i> 	浅水低能,可适应缺氧、高有机质环境
		M3b	盘形,管状第二房室早期球旋晚期平旋	外生附着	食植,食沉积物碎屑	<i>Hemigordius</i> 	浅水低能,可适应缺氧、高有机质环境
		M3c	卵形,球形,管状第二房室规则绕旋或早期球旋晚期包旋	外生附着	食植,食沉积物碎屑	<i>Agathammina</i> <i>Hemigordiopsidae</i> 	浅水高能,可适应恶劣环境
钙质	M4		近球形至球形	外生,底表附着,假漂浮	滤食,主动-被动摄食,食植,食碎屑	<i>Globivalvulina</i> 	浅水高能,阳光及营养条件良好环境
	M5		螺旋锥状、塔状,口面平宽	外生,附着其他生物	滤食,摄食沉积物碎屑	<i>Tetrataxis</i> 	浅水动荡,富营养环境
	M6		拉长锥形,高度螺旋	外生,底表附着	滤食,食细菌,摄食沉积物碎屑	<i>Palaeotextularia</i> <i>Cribrostomum</i> <i>Climacammina</i> <i>Cribrogenerina</i> 	浅水动荡,富营养环境

图 5 温水剖面栖霞组有孔虫形态群

Fig. 5 Foraminifera morphology group of the Qixia Formation in the Wenshui section

Nodosaria 为主,大都出现在泥质含量较高的层位中; M2b 以 *Pseudoglandulina* 为主,与 *Nodosaria* 形态相似但后生房室一定程度超覆先生房室,从其在剖面中所处层位来看,其对于深水、缺氧环境的适应性弱于 *Nodosaria*; M2c 主要包括 *Fronicularia* 及 *Geinitzina*, 均为广适性分子,从浅水高能至深水环境均可生存(彭毅峰和李红, 2020; 孟琦, 2022); M2d 以 *Langella* 为主,部分学者认为 *Langella* 较厚的壳壁结构使其能够适应浅水动荡环境(张木辉, 2015)。本次研究发现的 *Langella* 集中于剖面底部有机质十分丰富的层位,而在剖面上部亮晶颗粒灰岩中并未发现,考虑到 *Langella* 在栖霞组上部及茅口组从属种、个体数量等方面均开始显著减少(王克良, 1988),其在亮晶颗粒灰岩层中的缺失可能并不只是环境因素的影响,暂不能否认其对浅水动荡环境的适应性,因此本文建立的有孔虫形态群模型维持前人观点,认为 *Langella* 在浅水动荡、营养丰富环境中更加富集,温水剖面底部的 *Langella* 可能是由同期附近浅水高能区域搬运至此。

形态群 M3 总体以管状第二房室绕旋、平旋或包旋等特征为主,可进一步划分为 M3a~M3c。M3a 以胶结质壳的 *Glomospira* 为主, M3b 以钙质壳的 *Hemigordius* 为主,这 2 类有孔虫在壳体形态、生活方式、摄食方式等方面均较为一致(彭毅峰, 2021; 孟琦, 2022),其所能承受的静水压力略小于形态群 M2a; M3c 以 *Hemigordiopsidae*、*Agathammina* 为主,仅在亮晶颗粒灰岩层中发现。

形态群 M4 主要为 *Globivalvulina*, 形态群 M5 主要为 *Tetrataxis*, 形态群 M6 主要以 *Palaeotextulariidae*(古串珠虫科)分子为主。这 3 个形态群均适应浅水动荡、富营养环境,将其分列主要是因为壳体形态上差异较大,前人对于这 3 个形态群的生活方式、所处环境等均无较大异议(张木辉, 2015; 孟琦, 2022)。

前人对 *Plectogyra*、*Neoendothyra* 的形态群讨论较少。本次研究中发现的 *Plectogyra*、*Neoendothyra* 数量较少,仅有 2 个个体,其所在层位既包含适应深水低能、中等至贫营养、缺氧环境的形态群 M3a 分子 *Nodosaria*, 又包含适应浅水动荡、富营养环境的形态群 M4 分子 *Globivalvulina*、形态群 M6 分子 *Climacammina*, 因此暂不能将其单独列为一个形态群并确定其所指示环境。

本次研究发现的 *Fusulinina* 类有孔虫同样较为稀少,仅有 2 个个体,无法对其适应环境进行有价值的划分,因此暂不将其单独列为一个形态群。

4 碳酸盐岩微相类型

碳酸盐岩结构及古生物组成是碳酸盐岩微相划分及古环境研究的重要部分,本文基于镜下薄片观察及分析,参考 Dunham 碳酸盐岩结构分类方案(Dunham, 1962),将温水剖面栖霞组划分为灰泥岩、粒泥灰岩、泥粒灰岩及颗粒岩 4 种岩石类型及含钙藻粒泥灰岩、生物潜穴灰泥岩、生屑破碎的粒泥灰岩等 12 种微相(图 6)。

MF1 含钙藻粒泥灰岩: 基质支撑结构,含有机质,颗粒体积分数为 10%~50%,所含生屑以松藻类钙藻为主。见于剖面第 1、8、17 小层,其中第 1 小层钙藻含量及钙化程度均很低,第 8、17 层钙藻含量相对较高。

MF2 生物潜穴灰泥岩: 基质支撑结构,有机质丰富整体呈黑色,颗粒体积分数低于 10%,生屑稀少且大都极其破碎,镜下可观察到破碎生屑经生物潜穴作用而密集填集的现象。见于剖面第 2、23 小层。

MF3 生屑破碎的粒泥灰岩: 基质支撑结构,有机质含量较丰富,与 MF2 相似,但颗粒体积分数相对较高,为 10%~50%,除少量介壳外生屑大都极其破碎无法分辨。该微相见于剖面第 3、12、16 小层。

MF4 生屑密集堆积的泥粒灰岩: 颗粒支撑结构,颗粒体积分数大于 50%,可见丰富的介壳、有孔虫,偶见钙藻,生屑密集堆积且呈现出一定的定向性,有机质含量较高,颜色偏深。该微相仅见于剖面第 4 小层。

MF5 含有孔虫泥粒灰岩: 基质支撑结构,不含有机质,颗粒体积分数大于 50%,生屑方面可见较丰富的有孔虫,次为松藻类钙藻和棘皮类。该微相仅见于剖面第 6 小层。

MF6 有孔虫-钙藻泥粒灰岩: 颗粒支撑结构,颗粒体积分数大于 50%,含有机质,整体颜色偏深,含丰富钙藻、有孔虫,偶见介壳及腹足类生屑,钙藻类型方面以松藻类为主。该微相在剖面中较为常见,见于第 5、7、9、11、15、19、22、31 小层。

MF7 含粗枝藻碎屑泥粒灰岩: 颗粒支撑结

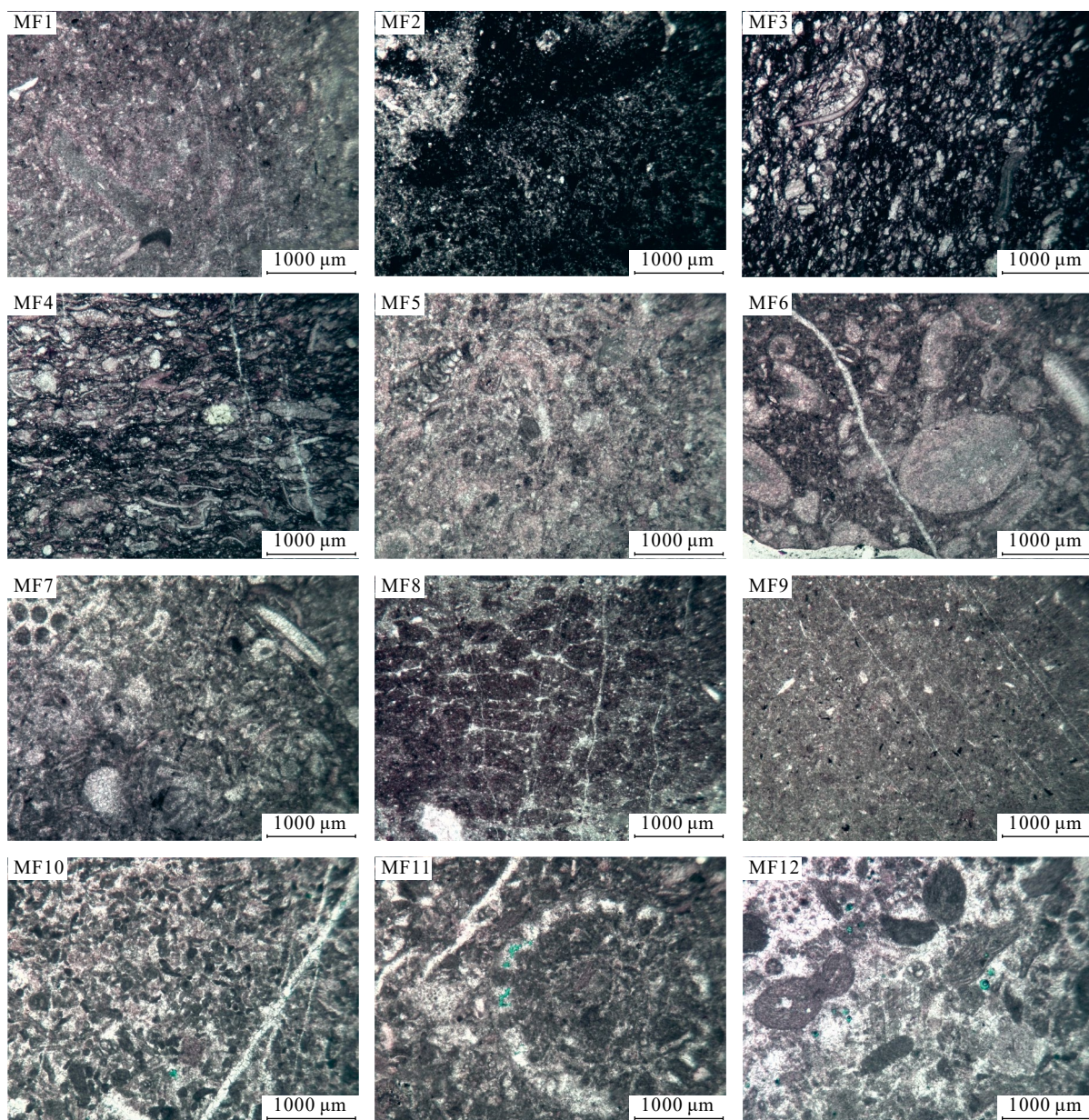


图6 温水剖面栖霞组沉积微相

Fig. 6 Microfacies of the Qixia Formation in the Wenshui section

构, 颗粒体积分数大于50%, 不含有机质, 生屑方面可见有孔虫、钙藻、腹足类, 钙藻方面可见粗枝藻类碎屑。该微相见于剖面第10、13、18、29小层。

MF8 含粪粒泥灰岩: 基质支撑结构, 颗粒体积分数为10%~50%, 不含有机质, 未见有孔虫或钙藻生屑, 镜下可观察到长椭球形粪球粒密集充填现象。该微相仅见于剖面第14小层。

MF9 均质无化石灰泥岩: 基质支撑结构, 不含有机质, 颗粒体积分数低于10%, 镜下未观察到任何完整生屑。该微相仅见于剖面第20层。

MF10 似球粒颗粒灰岩: 颗粒支撑结构, 颗粒

体积分数大于50%, 颗粒大都由似球粒组成, 颗粒间由亮晶胶结物充填。该微相见于剖面第21小层。

MF11 有孔虫-粗枝藻颗粒灰岩: 颗粒支撑结构, 颗粒体积分数大于50%, 颗粒间淘洗较差, 局部由亮晶胶结物充填, 含丰富的粗枝藻类钙藻与有孔虫, 翁格达藻也较为常见, 偶见棘皮类生屑。该微相见于剖面第24、26、28、30小层。

MF12 有孔虫-翁格达藻颗粒灰岩: 颗粒支撑结构, 颗粒体积分数大于50%, 颗粒间灰泥淘洗得较为干净, 由亮晶胶结物充填, 含丰富的翁格达藻与有孔虫。该微相见于剖面第25、27小层。

5 沉积相及环境解释

尽管目前四川盆地栖霞组的沉积模式仍存在争议,但盆地南部周缘地区栖霞组沉积厚度大、沉积前地势更低等特点已有了大量报道,为了与四川盆地其他地区栖霞组进行区分,部分研究者将该区域划分为台内洼地/台内缓坡而将其其他区域划分为半局限台地或开阔台地(李明隆等, 2022; 刘瑾等, 2023);也有研究者利用“较深水开阔台地”与“浅水开阔台地”来进行区分(胡明毅等, 2010; 黄涵宇等, 2017);除台地模式外,也有研究者采用缓坡沉积模式,通过“中缓坡”和“内缓坡”来体现水体深浅的变化(王秀平等, 2022)。

温水剖面除少部分层位(第 2、3 小层)外钙藻化石并未缺失,总体而言其沉积时水体深度并未达到深水盆地的程度,有孔虫、钙藻、棘皮类、腹足类等生屑在剖面中上部较为常见,指示了水体循环良好、盐度正常的浅海环境。钙藻方面,剖面第 1~4 小层钙藻极其稀少,偶见松藻类及假蠕孔藻碎片,第 5 小层开始松藻类较为常见,第 8 小层开始偶见粗枝藻类,以碎屑形式产出,第 24 小层开始以粗枝藻类+翁格达藻的组合为主,这种钙藻类型及组合的变化对于古水深的恢复及沉积相划分具有重要意义。吴亚生等(2020)基于对湖南慈利虾米洞上二叠统长兴组钙藻化石的研究,认为晚二叠世粗枝藻类、松藻类分别生活在水深小于 20 m 及 20~80 m 的碳酸盐岩台地环境内;山克强和孟晓荣(2022)基于对云南镇雄安家坝剖面栖霞组-茅口组沉积微相的研究,认为非镶边碳酸盐岩台地环境以二叠钙藻(*Permocalculus*)组合为主,镶边碳酸盐岩台地则以蠕+翁格达藻组合为特征。

基于以上观点,本文认为温水剖面栖霞组中上部(第 7~28 小层)总体处于非镶边碳酸盐岩台地环境,并将其进一步划分为较深水开阔台地、浅水开阔台地及台内滩亚相,剖面下部水深大于较深水开阔台地的部分则划为陆棚相及斜坡相(图 7)。

5.1 陆棚相

温水剖面底部第 1~3 小层为陆棚相,其处于由梁山组滨岸沼泽相沉积向栖霞组碳酸盐岩沉

积过渡的早期阶段,除第 1 小层外钙藻缺失,有机质含量高,总体位于透光带之下,可进一步划分为浅水陆棚与深水陆棚亚相。本段可与修订版威尔逊模式中的 FZ2(深水陆棚)相对应。

第 1 小层发育含钙藻粒泥灰岩(MF1),生屑含量较低且保存较差、仅能识别出极少量介壳及钙化程度较低的松藻类钙藻,可划为浅水陆棚亚相。第 2 小层为生物潜穴灰泥岩(MF2),有机质含量高,稀少且破碎的生屑密集填集于生物潜穴之中,指示了静水环境,其沉积时水体深度在第 1 小层的基础上进一步加深,因而划为深水陆棚亚相。第 3 小层为生屑破碎的粒泥灰岩(MF3),相较于第 2 小层虽生屑含量有所增加,但有机质含量依然很高,故仍划为深水陆棚亚相。本段自下而上的微相及亚相变化指示了栖霞组沉积早期水体深度持续增加的变化过程。

有孔虫方面本段仅发现 2 枚化石,分别为 *Tuberitina globosa* Xu 及 *Nodosaria wjatensis* Tcherdynzev, *Tuberitina* 为形态群 M1 分子,其食性复杂、环境适应性较强, *Nodosaria* 为形态群 M2a 分子,可适应深水低能、缺氧、中等-贫营养环境。

5.2 斜坡相

剖面第 4~6 小层为斜坡相,本段自下而上有机质含量逐渐降低,岩石颜色由深变浅,可进一步划分为低能生屑滩和斜坡近端亚相。

剖面第 4 小层由生屑密集堆积的泥粒灰岩(MF4)组成,有机质含量高,颜色偏深,指示了低能环境,但同时生屑含量很高、密集堆积且呈现出一定的定向性,说明本段沉积时受搬运作用影响,较浅水区域的丰富生屑被搬运至深水低能环境中沉积,可划为低能生屑滩亚相。

剖面第 5~6 层有机质组分向上逐渐减少,钙藻化石含量有所增多但并不丰富,以松藻类为主,偶见 *Tubiphytes*(管壳石),形态群 M3a 分子 *Glomospira* 开始出现。这些证据均指示水深开始变浅、静水压力逐渐减小,与第 4 小层相比,第 5~6 小层生屑含量相对较低,未达到生屑滩的水平,因此划分为斜坡近端亚相。

本段有孔虫无论是数量还是属种均十分丰富,既包含食植的形态群 M2d、M3a、M4 分子,也包含食沉积物碎屑的形态群 M5 分子、食细菌的形态群 M6 分子,还包含食性复杂的形态群 M1、M2a、M2b、M2c,结合第 4 小层微相所指示的搬

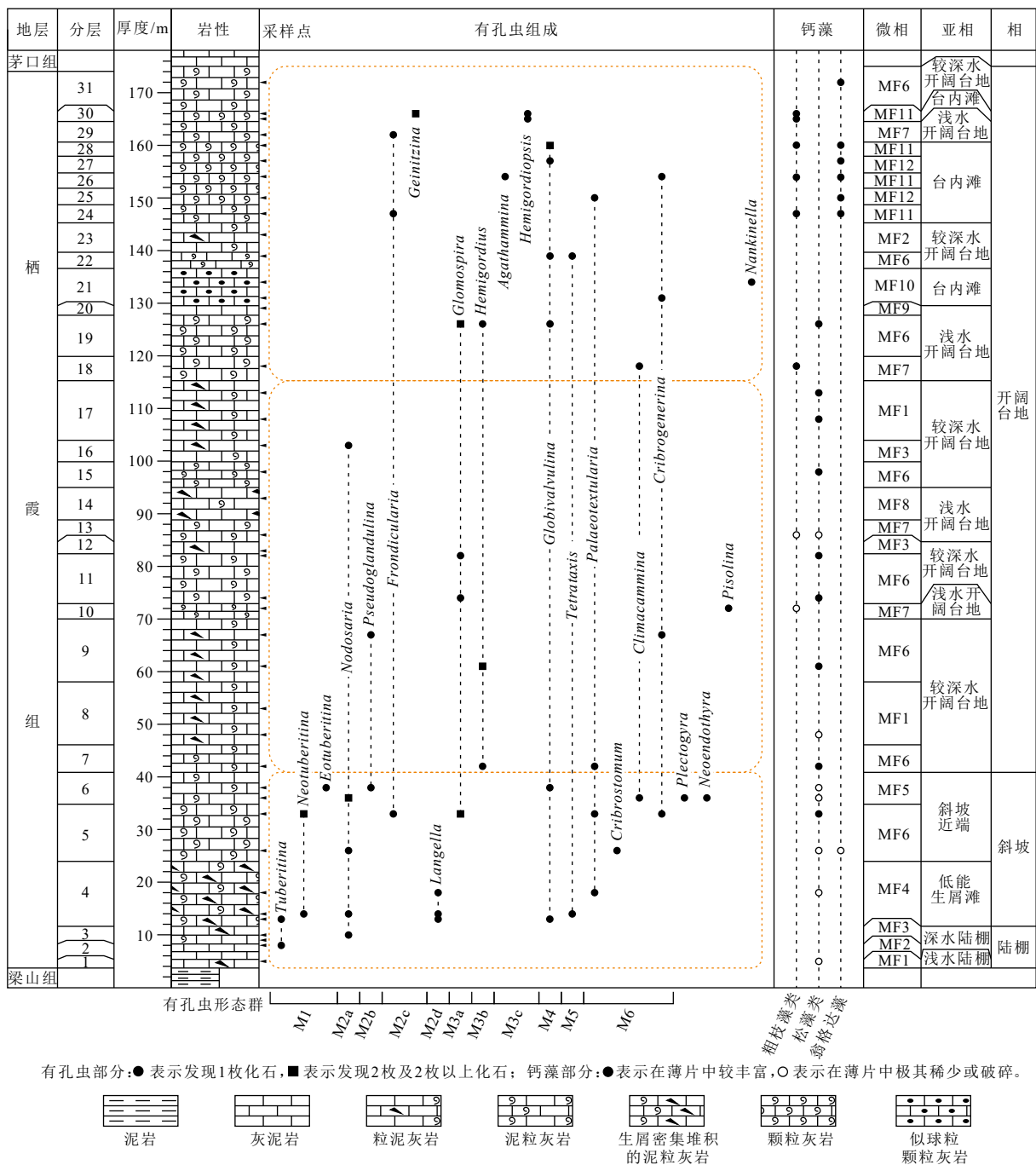


图 7 温水剖面有孔虫分布及沉积相划分

Fig. 7 Distribution of foraminifera and facies in the Qixia Formation, Wenshui section

运用作用, 这些有孔虫中的部分可能由他处搬运至此。

5.3 开阔台地相

剖面第7小层开始, 有孔虫、钙藻、腹足、棘皮类等指示正常海洋环境的生屑在大部分层位中均可发现, 整体上处于开阔台地环境, 但部分层位有机质含量较高, 整体颜色偏深, 且在钙藻类型上与不含有有机质的层位存在较明显差异, 因此以较深水开阔台地亚相、浅水开阔台地亚相、

台内滩亚相进行区分。

5.3.1 较深水开阔台地亚相

较深水开阔台地亚相以含钙藻粒泥灰岩(MF1)、生屑破碎的粒泥灰岩(MF3)、有孔虫-钙藻泥粒灰岩(MF6)为主, 偶见生物潜穴灰泥岩(MF2), 在剖面中与浅水开阔台地、台内滩亚相交替出现。钙藻方面, 较深水开阔台地以松藻类为主, 部分层位未见钙藻(第12、16、23小层)。

有孔虫方面,第 7 小层可见 *Hemigordius*、*Palaeotextularia*, 第 9 小层见 *Hemigordius* 及 1 枚疑似 *Cribrogenerina*, 其中 *Hemigordius* 属形态群 M3b, 适应浅水低能环境,对缺氧环境拥有一定适应性,*Cribrogenerina* 由于其较为破碎,可能由附近浅水高能地区搬运至此。第 16 小层见 *Nodosaria*, 属形态群 M2a, 适应深水低能、缺氧、中等-贫营养环境,其他属于该亚相的层位(第 8、12、17、23、31 小层)薄片未见有孔虫。

5.3.2 浅水开阔台地亚相

浅水开阔台地作为开阔台地相中水体较浅的亚相,以含粗枝藻碎屑泥粒灰岩(MF7)为主,次为有孔虫-钙藻泥粒灰岩(MF6)、含粪粒泥灰岩(MF8)、均质无化石灰泥岩(MF9)。钙藻方面以粗枝藻类为主,个别层位(第 13 小层)仍可见少量松藻类钙藻。

有孔虫方面,第 10 小层见 *Pisolina*, 第 18 小层见 *Climacammina*, 第 19 小层见 *Hemigordius*、*Globivalvulina* 及多枚 *Glomospira*。总体而言该亚相有孔虫仍以形态群 M3a、M3b 分子最为丰富,次为适应浅水高能、富营养环境的形态群 M4、M6 分子。

5.3.3 台内滩

台内滩为本次研究中开阔台地环境下水体最浅的亚相,以有孔虫-粗枝藻颗粒灰岩(MF11)、有孔虫-翁格达藻颗粒灰岩(MF12)为主,偶见似球粒颗粒灰岩(MF10),以上微相均为颗粒支撑结构,生屑体积分数大于 50%,不含有机质。钙藻方面本亚相未见松藻类,以粗枝藻类及翁格达藻为主。

有孔虫方面,第 21 小层见 *Cribrogenerina* 及 *Nankinella*, 第 25~28 小层见 *Agathammina*、*Cribrogenerina* 及多枚 *Globivalvulina*, 第 30 小层见 *Geinitzina* 及 2 枚 *Hemigordiopsis*。整体而言该亚相以丰富的 *Globivalvulina*、*Agathammina*、*Hemigordiopsis* 及 *Palaeotextulariidae* 分子为主,其中 *Palaeotextulariidae* 各属为形态群 M6 分子,*Agathammina*、*Hemigordiopsis* 为形态群 M3c 分子,*Globivalvulina* 为形态群 M4 分子,这些形态群分子均适应浅水高能、营养丰富的环境。

6 沉积环境演化

基于以上对贵州习水地区温水剖面栖霞组

沉积微相、有孔虫分布及形态群特征、钙藻类型及组合等的研究,本区栖霞组的沉积大致可分为 3 个阶段。

栖霞组沉积早期(图 8-A),由于习水地区古地势相较于四川盆地内部大部分地区更低,在海水由盆地边缘多个方向向盆内侵入的过程中较早接受沉积,总体处于陆棚环境。剖面底部浅水陆棚亚相-深水陆棚亚相的转变指示了海侵规模的进一步加大,由于水深、静水压力较大,同时又处于透光带之下,此时的环境并不适合大部分生物生存、碳酸盐生产效率低下,所形成的碳酸盐岩厚度不足 5 m(图 7)。随海侵持续进行,盆地内地势较高的地区也被完全淹没并处于古水深相对较小、地势较平坦的开阔台地环境,此时的习水地区仍处于水深较大、处于透光带之下的沉积环境,发育含有机质、富有机质的微相(MF2、MF3、MF4),有孔虫方面可见较丰富的形态群 M1 及 M2a 分子。形态群 M1 分子为灾难分子或机会种,能够适应较恶劣的环境,形态群 M2a 分子能够适应深水低能、中等-贫营养环境且对缺氧环境的适应性也较强,这 2 个形态群分子的大量出现也说明其沉积时水体深度仍较大、环境中营养物质较为贫乏,碳酸盐生产速率有限。而有机质含量较高、生屑密集堆积且呈现出一定的定向性的 MF4 指示了习水地区在这一时期可能接受了大量由更浅区域搬运至此的碳酸盐及生屑,形成了低能生屑滩。

低能生屑滩的形成使得习水地区能够在深水、贫营养、碳酸盐生产速率有限的条件下快速积累起较厚的碳酸盐沉积,从而使得古水深相对变浅至透光带以内、适宜钙藻等生物大量繁殖的程度,开始发育斜坡近端亚相。此时松藻类钙藻较为常见且在部分层位中富集,对深水低能、中等-贫营养、缺氧环境适应性更强的形态群 M2a,以及在恶劣环境中更易取得优势地位的形态群 M1 分子仍较为常见,但适应浅水低能、缺氧环境的形态群 M3a、M3b 分子 *Glomospira* 及 *Hemigordius* 开始出现,进一步说明古水深相对减小。微相方面,生屑富集且呈定向排列的 MF4 转变为生屑及有机质含量相对较少的 MF6 及 MF5,证明搬运作用逐渐减弱,无法形成低能生屑滩,但仍处于斜坡相带。

栖霞组沉积中期(图 8-B),习水地区由斜坡

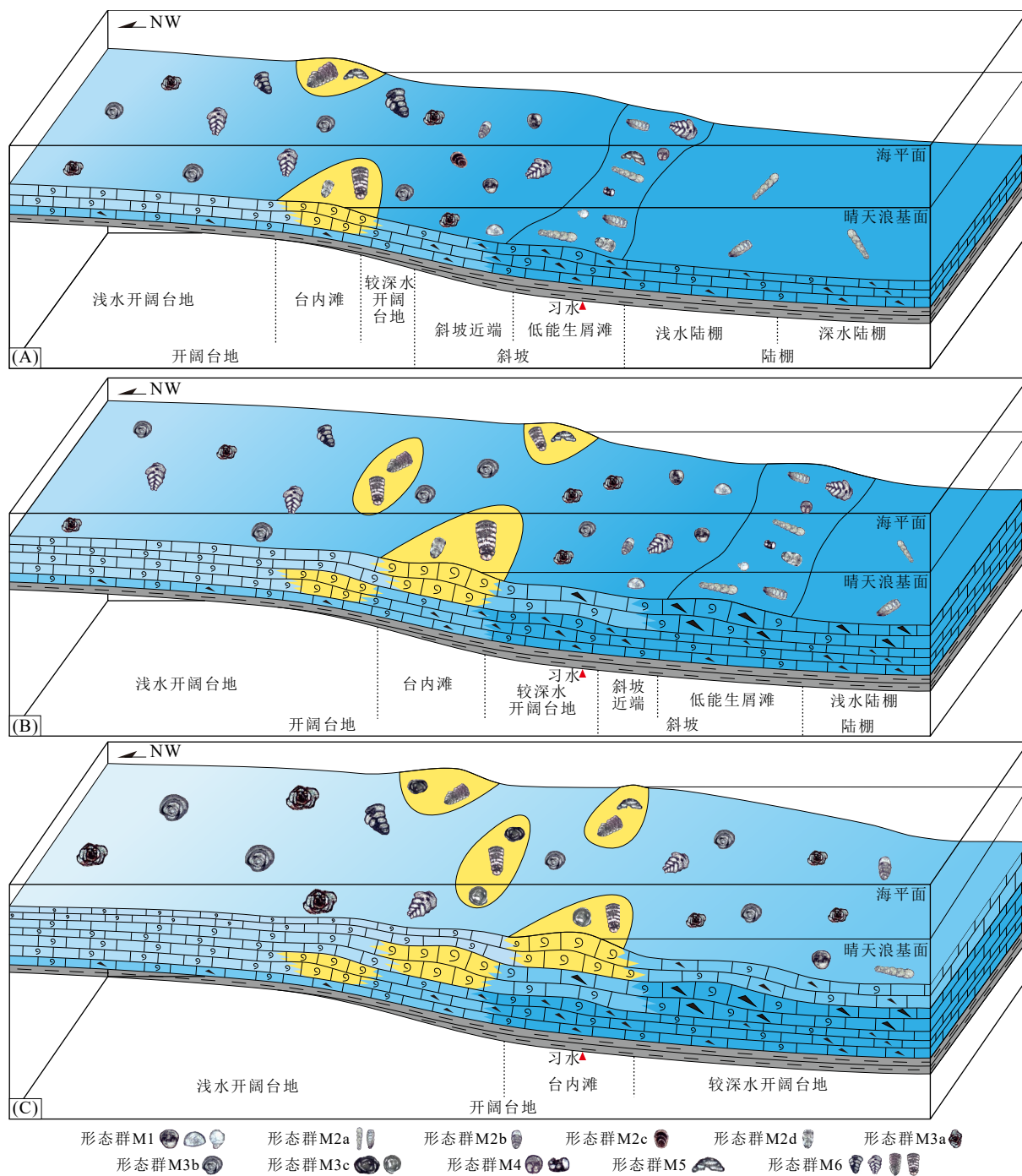


图8 贵州习水地区栖霞组古地理环境及演化模式

Fig. 8 Paleogeographic pattern of the Qixia Formation in Xishui, Guizhou Province

(A) 栖霞组沉积早期(习水地区依次发育陆棚相、斜坡相,陆棚相有孔虫少见,以浅内生-深内生的形态群M2a分子为主,斜坡相有孔虫丰富,形态群M1、M2、M4、M5分子均可见);(B) 栖霞组沉积中期(习水地区以较深水开阔台地亚相、浅水开阔台地亚相为主,有孔虫方面以外生附着型的形态群M3a、M3b分子为主);(C) 栖霞组沉积晚期(习水地区开始发育台内滩亚相,有孔虫方面以外生附着型的形态群M3、外生或底表附着型的形态群M4、M5、M6分子为主)

相转为台地相沉积,钙藻类生屑更加丰富,有孔虫属种和数量相对较低,可进一步划分为较深水开阔台地亚相及浅水开阔台地亚相。这2种亚相在有孔虫形态群方面较为相似(图7),均以形

态群M3a及M3b分子为主,但在微相与所含钙藻类型方面,二者具有较为明显的区别:较深水开阔台地亚相通常由含有机质甚至富有机质的微相组成,而浅水开阔台地亚相除有孔虫-钙藻泥

粒灰岩(MF6)外,所包含微相均不含有有机质;较深水开阔台地以松藻类钙藻为主,而浅水开阔台地亚相中粗枝藻类开始出现,说明其古水深间或接近 20 m(吴亚生等, 2020)。

栖霞组沉积晚期(图 8-C),习水地区仍处于开阔台地环境但开始发育台内滩亚相。微相方面由似球粒颗粒灰岩(MF10)、有孔虫-粗枝藻颗粒灰岩(MF11)、有孔虫-翁格达藻颗粒灰岩(MF12)组成。钙藻方面常见粗枝藻类-翁格达藻组合,有孔虫方面可见丰富的形态群 M3c、M4、M5、M6 分子,在陆棚、斜坡、较深水开阔台地及浅水开阔台地亚相中较常见的形态群 M1、M2a、M3a、M3b 分子在台内滩亚相中罕见甚至缺失。

7 结论

(1)习水地区温水剖面栖霞组共识别出有孔虫 22 属 48 种(含亚种、未定种),以小有孔虫为主,蠕类有孔虫罕见,可建立 3 个小有孔虫组合:剖面下部的 *Langella perforata* 组合,除 *Langella* 外还含有丰富 *Tuberitinae* 及 *Nodosaria* 分子;剖面中部的 *Glomospira* - *Hemigordius* 组合;剖面上部的 *Globivalvulina* 组合。

(2)习水地区温水剖面栖霞组有孔虫可划分为 M1~M6 共 6 个形态群。M1 以结构简单、壳体呈球形、半球形或近卵形的 *Eotuberitina*、*Neotuberitina* 等分子为主;M2 以单列多房类的有孔虫为主,可进一步分为形态群 M2a~M2d;M3 总体以管状第二房室绕旋、平旋或包旋等特征为主,可进一步分为 M3a~M3c;形态群 M4 以球形至近球形的 *Globivalvulina* 分子为主;M5 以螺旋锥状或塔状的 *Tetrataxis* 分子为主;M6 以高度螺旋或拉长锥形的 *Palaeotextulariidae* 分子为主。

(3)习水地区温水剖面栖霞组可划分出 12 种沉积微相:含钙藻粒泥灰岩、生物潜穴灰泥岩、生屑破碎的粒泥灰岩、生屑密集堆积的泥粒灰岩、含有孔虫泥粒灰岩、有孔虫-钙藻泥粒灰岩、含粗枝藻碎屑泥粒灰岩、含粪粒泥灰岩、均质无化石灰泥岩、似球粒颗粒灰岩、有孔虫-粗枝藻颗粒灰岩、有孔虫-翁格达藻颗粒灰岩。

(4)通过沉积微相研究,认为习水地区栖霞组早期为陆棚相及斜坡相,中期处于开阔台地环境,发育较深水开阔台地及浅水开阔台地亚相,晚期

仍处于开阔台地环境,但台内滩亚相开始较为常见。

(5)陆棚相钙藻罕见,有孔虫较为稀少,见形态群 M1、M3a 分子。斜坡相钙藻含量较低,以松藻类为主,由于接受了大量由台地内部搬运至此的生屑,所含有孔虫十分丰富,形态群 M1~M6 分子均可见。开阔台地相中,较深水开阔台地亚相与浅水开阔台地亚相均以形态群 M3a、M3b 分子为主,钙藻类型方面,浅水开阔台地亚相可见粗枝藻而深水开阔台地亚相中粗枝藻类缺失,台内滩亚相含丰富的粗枝藻类、翁格达藻,有孔虫方面可见丰富的形态群 M3c、M4、M5、M6 分子。

利益冲突声明: 本文所有作者声明本研究无任何利益冲突。所有作者均阅读并同意最终稿件的提交。

[参 考 文 献]

- 陈洪德,覃建雄,王成善,等,1999. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 17(4): 509—520.
- Chen H D, Qin J X, Wang C S, et al., 1999. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Permian in South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 17(4): 509—520. (in Chinese)
- 陈宗清, 2009. 论四川盆地中二叠统栖霞组天然气勘探[J]. 天然气地球科学, 20(3): 325—334.
- Chen Z Q, 2009. Discussion on gas exploration of Middle Permian Qixia Formation, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 20(3): 325—334. (in Chinese)
- 冯增昭,杨玉卿,金振奎,等,1996. 中国南方二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 14(2): 1—10.
- Feng Z Z, Yang Y Q, Jin Z K, et al., 1996. Lithofacies paleogeography of the Permian of South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 14(2): 1—10. (in Chinese)
- 郝诒纯,林甲兴,1982. 论粤、桂、湘、鄂二叠纪有孔虫的组合特征[J]. 地球科学, 7(1): 19—33.
- Hao Y C, Lin J X, 1982. Permian foraminiferal assemblages in Guangdong, Guangxi, Hunan and Hubei[J]. Earth Science, 7(1): 19—33. (in Chinese)
- 胡明毅,魏国齐,胡忠贵,等,2010. 四川盆地中二叠统栖霞组层序-岩相古地理[J]. 古地理学报, 12(5): 515—526.
- Hu M Y, Wei G Q, Hu Z G, et al., 2010. Sequence-lithofacies palaeogeography of the Middle Permian Qixia Formation in Sichuan Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 12(5): 515—526. (in Chinese)
- 黄涵宇,何登发,李英强,等,2017. 四川盆地及邻区二叠纪梁山-栖霞组沉积盆地原型及其演化[J]. 岩石学报, 33(4):

- 1317—1337.
- Huang H Y, He D F, Li Y Q, et al., 2017. The prototype and its evolution of the Sichuan sedimentary basin and adjacent areas during Liangshan and Qixia Stages in Permian[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(4): 1317—1337. (in Chinese)
- 黄先平, 杨天泉, 张红梅, 2004. 四川盆地二叠统沉积相及其勘探潜力区研究[J]. *天然气工业*, 24(1): 10—12.
- Huang X P, Yang T Q, Zhang H M, 2004. Research on the sedimentary facies and exploration potential areas of Lower Permian in Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 24(1): 10—12. (in Chinese)
- 李明隆, 谭秀成, 杨雨, 等, 2022. 四川盆地及其邻区下二叠统栖霞阶层序—岩相古地理特征及油气地质意义[J]. *石油勘探与开发*, 49(6): 1119—1131.
- Li M L, Tan X C, Yang Y, et al., 2022. Sequence-lithofacies paleogeographic characteristics and petroleum geological significance of Lower Permian Qixia Stage in Sichuan Basin and its adjacent areas, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 49(6): 1119—1131. (in Chinese)
- 李芝君, 王大锐, 1985. 浙江省桐庐县瑶琳地区下二迭统栖霞—茅口组有孔虫动物群及其环境探讨[J]. *石油勘探与开发*, 12(4): 28—35.
- Li Z J, Wang D R, 1985. A discussion on the relation between the occurrence of foraminifera fossils and the depositional environment of Lower Permian Qixia-Maokou Formation in Yaolin area, Tonglu county, Zhejiang Province[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 12(4): 28—35. (in Chinese)
- 梁宁, 郑荣才, 邓吉刚, 等, 2016. 川西北地区中二叠统栖霞组沉积相与缓斜坡模式[J]. *岩性油气藏*, 28(6): 58—67.
- Liang N, Zheng R C, Deng J G, et al., 2016. Sedimentary facies and gentle slope model of the Middle Permian Qixia Formation in the northwestern Sichuan Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 28(6): 58—67. (in Chinese)
- 梁茹, 苏中堂, 马慧, 等, 2021. 川西地区中二叠统栖霞组白云岩成因分析[J]. *沉积学报*, 39(6): 1506—1516.
- Liang R, Su Z T, Ma H, et al., 2021. Analysis of the origin of dolomites in the Middle Permian Qixia Formation, western Sichuan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 39(6): 1506—1516. (in Chinese)
- 林甲兴, 李家骥, 孙全英, 1990. 华南地区晚古生代有孔虫[M]. 北京: 科学出版社.
- 刘芳, 向荣, 2010. 现代浮游有孔虫生态研究进展[J]. *微体古生物学报*, 27(4): 366—375.
- Liu F, Xiang R, 2010. Advances in the study of modern planktonic Foraminifera[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 27(4): 366—375. (in Chinese)
- 刘瑾, 唐德海, 李炳弢, 2023. 川东南綦江地区下二叠统栖霞组沉积储层特征[J]. *天然气技术与经济*, 17(6): 8—15.
- Liu J, Tang D H, Li B T, 2023. Sedimentary and reservoir characteristics of Qixia Formation, Qijiang area, southeastern Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Technology and Economy*, 17(6): 8—15. (in Chinese)
- 刘树根, 李智武, 孙玮, 等, 2011. 四川含油气叠合盆地基本特征[J]. *地质科学*, 46(1): 233—257.
- Liu S G, Li Z W, Sun W, et al., 2011. Basic geological features of superimposed basin and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin, China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 46(1): 233—257. (in Chinese)
- 刘文栋, 钟大康, 孙海涛, 等, 2021. 川西北中二叠统栖霞组沉积特征及古地貌响应[J]. *沉积学报*, 39(5): 1275—1291.
- Liu W D, Zhong D K, Sun H T, et al., 2021. Sedimentary characteristics and paleogeomorphic responses of the Middle Permian Qixia Formation in the northwestern Sichuan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 39(5): 1275—1291. (in Chinese)
- 刘正元, 苑保国, 黄兴, 等, 2020. 川西北剑阁县猫儿塘二叠纪地层划分与对比[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 47(3): 257—273.
- Liu Z Y, Yuan B G, Huang X, et al., 2020. Division and correlation of Permian Formation at Maoertang section in northwest Sichuan, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 47(3): 257—273. (in Chinese)
- 罗冰, 张玺华, 陈延贵, 等, 2024. 四川盆地南缘的二叠系及生物群[J]. *地层学杂志*, 48(3): 318—328.
- Luo B, Zhang X H, Chen Y G, et al., 2024. The Permian and its biota in the southern margin of the Sichuan Basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 48(3): 318—328. (in Chinese)
- 罗兰, 王兴志, 李勇, 等, 2017. 川西北地区中二叠统沉积相特征及其对储层的影响[J]. *特种油气藏*, 24(4): 60—66.
- Luo L, Wang X Z, Li Y, et al., 2017. Sedimentary facies in Middle Permian series in northwest Sichuan and its effect on reservoirs[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 24(4): 60—66. (in Chinese)
- 孟琦, 2022. 中二叠世扬子碳酸盐岩台地南部沉积演化及其地质意义[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉).
- Meng Q, 2022. Middle Permian sedimentary evolution of the southern Yangtze carbonate platform and its geological significance[D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan). (in Chinese)
- 彭毅峰, 2021. 川东地区二叠纪瓜德鲁普世—乐平世界线事件的碳酸盐岩微相与有孔虫形态群研究[D]. 西安: 西北大学.
- Peng Y F, 2021. Carbonate microfacies and foraminiferal morphogroup study on Guadalupian-Lopingian boundary in eastern Sichuan[D]. Xi'an: Northwest University. (in Chinese)

- 彭毅峰, 李红, 2020. 底栖有孔虫形态群研究进展[J]. 微体古生物学报, 37(4): 381—394.
- Peng Y F, Li H, 2020. Progress in benthic foraminifera morphogroup research[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 37(4): 381—394. (in Chinese)
- 山克强, 孟晓荣, 2022. 云南镇雄二叠系栖霞组-茅口组沉积微相及沉积环境演变[J]. 地层学杂志, 46(1): 68—85.
- Shan K Q, Meng X R, 2022. Carbonate microfacies analysis and evolution of depositional environment of the Chihhsia Formation and the Maokou Formation (Middle Permian) in Zhenxiong, Yunnan[J]. Journal of Stratigraphy, 46(1): 68—85. (in Chinese)
- 沈树忠, 张华, 张以春, 等, 2019. 中国二叠纪综合地层和时间框架[J]. 中国科学: 地球科学, 49(1): 160—193.
- Shen S Z, Zhang H, Zhang Y C, et al., 2019. Permian integrative stratigraphy and timescale of China[J]. Science China Earth Sciences, 62(1): 154—188.
- 唐顺成, 林良彪, 苏中堂, 等, 2023. 川西地区中二叠统栖霞组白云石化作用及其对储层的影响[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 50(2): 148—161.
- Tang S C, Lin L B, Su Z T, et al., 2023. Dolomitization of Middle Permian Qixia Formation in western Sichuan and its effect on reservoir[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 50(2): 148—161. (in Chinese)
- 汤艳玲, 李凌, 谭秀成, 等, 2024. 川西南部地区下二叠统栖霞阶层序地层特征及岩相古地理[J]. 沉积学报, 42(2): 575—592.
- Tang Y L, Li L, Tan X C, et al., 2024. Sequence stratigraphy and lithofacies paleogeography of the Lower Permian Qixia stage in southwestern Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 42(2): 575—592. (in Chinese)
- 王克良, 1988. 华南小有孔虫 *Langella* 动物群及其地层意义[J]. 微体古生物学报, 5(3): 275—282.
- Wang K L, 1988. *Langella* (smaller foraminifera) fauna from South China and its stratigraphic significance[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 5(3): 275—282. (in Chinese)
- 王立亭, 董文兰, 叶念曾, 等, 1982. 试论蜓的古生态与古水动力的关系——以贵州早二叠世栖霞晚期为例[J]. 石油与天然气地质, 3(3): 231—239.
- Wang L T, Dong W L, Ye N Z, et al., 1982. A discussion of the relationship between fusulinid ecology and hydrodynamic environment—by way of example of Later Chihhsia Stage, Early Permian, Guizhou Province[J]. Oil & Gas Geology, 3(3): 231—239. (in Chinese)
- 王秀平, 王启宇, 安显银, 2022. 川南地区二叠系沉积环境及其演化特征——以四川古蔺芭蕉村剖面为例[J]. 沉积与特提斯地质, 42(3): 398—412.
- Wang X P, Wang Q Y, An X Y, 2022. Characteristics of sedimentary environment and evolution of Permian in southern Sichuan Basin: an example from the profile of Gulin Bajiao-cun in Sichuan Province[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(3): 398—412. (in Chinese)
- 王玥, 汪泽坤, 黄兴, 2023. 华南二叠纪紫松期—罗甸期蜓类生物地层再研究[J]. 地层学杂志, 47(2): 157—175.
- Wang Y, Wang Z K, Huang X, 2023. Restudy on the fusuline biostratigraphy from Zisongian to Luodianian of the Permian in South China[J]. Journal of Stratigraphy, 47(2): 157—175. (in Chinese)
- 吴汉宁, 朱日祥, 白立新, 等, 1998. 扬子地块显生宙古地磁视极移曲线及地块运动特征[J]. 中国科学(D辑), 28(增刊): 69—78.
- 吴亚生, 蒋子文, 姜红霞, 2020. 湖南慈利晚二叠世松藻类化石古生态[J]. 古生物学报, 59(2): 198—214.
- Wu Y S, Jiang Z W, Jiang H X, 2020. Paleogeology of codiales fossils in Late Permian limestone from Cili, Hunan Province[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 59(2): 198—214. (in Chinese)
- 徐炳川, 2006. 中国重要地区的蜓及非蜓有孔虫[M]. 北京: 地震出版社.
- 杨帅, 陈安清, 张玺华, 等, 2021. 四川盆地二叠纪栖霞—茅口期古地理格局转换及勘探启示[J]. 沉积学报, 39(6): 1466—1477.
- Yang S, Chen A Q, Zhang X H, et al., 2021. Paleogeographic transition of the Permian Chihhsia-Maokou period in the Sichuan Basin and indications for oil-gas exploration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 39(6): 1466—1477. (in Chinese)
- 杨巍, 张廷山, 刘治成, 等, 2014. 地幔柱构造的沉积及环境响应——以峨眉地幔柱为例[J]. 岩石学报, 30(3): 835—850.
- Yang W, Zhang T S, Liu Z C, et al., 2014. Sedimentary and environmental responses to mantle plume: a case study of Emeishan mantle plume[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(3): 835—850. (in Chinese)
- 杨湘宁, 1989. 广西宜山马平组的蜓类化石分带[J]. 现代地质, 3(3): 297—307.
- Yang X N, 1989. The fusulinids zonation of Maping Formation in Yishan county, Guangxi autonomous region[J]. Geoscience, 3(3): 297—307. (in Chinese)
- 杨振强, 林甲兴, 1983. 从鄂西二叠纪碳酸盐岩微相探讨有孔虫的生态环境[J]. 沉积学报, 1(4): 92—105.
- Yang Z Q, Lin J X, 1983. Interpreting ecologic environment of foraminifera from the carbonate microfacies of Permian in western Hubei[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1(4): 92—105. (in Chinese)
- 张木辉, 2015. 华南晚二叠世深水相有孔虫研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉).

- Zhang M H, 2015. Late Permian deep water foraminiferal fauna from South China[D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan). (in Chinese)
- 张廷山, 陈晓慧, 刘治成, 等, 2011. 峨眉地幔柱构造对四川盆地栖霞期沉积格局的影响[J]. 地质学报, 85(8): 1251—1264.
- Zhang T S, Chen X H, Liu Z C, et al., 2011. Effect of Emeishan mantle plume over the sedimentary pattern of Mid-Permian Xixia period in Sichuan Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 85(8): 1251—1264. (in Chinese)
- 张运波, 2011. 四川盆地中二叠统层序地层及沉积模式[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- Zhang Y B, 2011. Sequence stratigraphy and depositional models of the Middle Permian in Sichuan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing). (in Chinese)
- 张舟, 张廷山, 蓝光志, 2011. 川西北二叠系栖霞组小有孔虫动物群[J]. 现代地质, 25(5): 987—994.
- Zhang Z, Zhang T S, Lan G Z, 2011. Non-fusulinid foraminiferal fauna from the Permian Chihhsia Formation, northwestern Sichuan Basin[J]. Geoscience, 25(5): 987—994. (in Chinese)
- 赵宗举, 周慧, 陈轩, 等, 2012. 四川盆地及邻区二叠纪层序岩相古地理及有利勘探区带[J]. 石油学报, 33(增刊2): 35—51.
- Zhao Z J, Zhou H, Chen X, et al., 2012. Sequence lithofacies palaeogeography and favorable exploration zones of the Permian in Sichuan Basin and adjacent areas, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 33(S2): 35—51. (in Chinese)
- 周进高, 姚根顺, 杨光, 等, 2016. 四川盆地栖霞组—茅口组岩相古地理与天然气有利勘探区带[J]. 天然气工业, 36(4): 8—15.
- Zhou J G, Yao G S, Yang G, et al., 2016. Lithofacies palaeogeography and favorable gas exploration zones of Qixia and Maokou Fms in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 36(4): 8—15. (in Chinese)
- 周祖仁, 1982. 湘东南早二叠世栖霞期早期的 *Schwagerina cushmani* 蠕类群[J]. 古生物学报, 21(2): 225—248.
- Zhou Z R, 1982. Earliest Permian *Schwagerina cushmani* fusulinid fauna from southeastern Hunan[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 21(2): 225—248. (in Chinese)
- 朱利东, 刘登忠, 徐新煌, 1997. 川北曾家地区二叠纪—早三叠世地层学研究[J]. 成都理工学院学报, 24(1): 90—97.
- Zhu L D, Liu D Z, Xu X H, 1997. Permian—Early Triassic biostratigraphy and sequence stratigraphy in Zengjia area of northern Sichuan Province[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 24(1): 90—97. (in Chinese)
- Bandy O L, 1960. General correlation of foraminiferal structure with environment[C]//The Twenty First International Geological Congress. Copenhagen: International Geological Congress.
- Dunham R J, 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture[M]//Ham W E. Classification of carbonate rocks—a symposium. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists; 108—121.
- Flügel E, 2010. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application[M]. 2nd ed. Heidelberg: Springer; 1—976.
- Holcová K, Slavík L, 2013. The morphogroups of small agglutinated foraminifera from the Devonian carbonate complex of the Prague Synform, (Barrandian area, Czech Republic)[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 386: 210—224.
- Huang B C, Yan Y G, Piper J D A, et al., 2018. Paleomagnetic constraints on the paleogeography of the East Asian blocks during Late Paleozoic and Early Mesozoic times[J]. Earth-Science Reviews, 186: 8—36.
- Jones R W, Charnock M A, 1985. “Morphogroups” of agglutinating foraminifera, their life positions and feeding habits and potential applicability in (paleo) ecological studies[J]. Revue de Paléobiologie, 4(2): 311—320.
- Kaminski M A, Silye L, Kender S, 2005. Miocene deep-water agglutinated foraminifera from ODP Hole 909c: implications for the paleoceanography of the Fram Strait area, Greenland Sea[J]. Micropaleontology, 51(5): 373—403.
- Nagy J, 1992. Environmental significance of foraminiferal morphogroups in Jurassic North sea deltas[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 95(1/2): 111—134.
- Reolid M, Sebane A, Rodríguez-Tovar F J, et al., 2012. Foraminiferal morphogroups as a tool to approach the Toarcian Anoxic Event in the Western Saharan Atlas (Algeria)[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 323/324/325: 87—99.
- Saali M, Saraswat R, Suokhrie T, et al., 2019. Assessing the ecological preferences of agglutinated benthic foraminiferal morphogroups from the western bay of Bengal[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 161: 38—51.