

张玉玺, 陈建文, 张银国. 下扬子-南黄海地区下三叠统“错时相”沉积及成因[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(4): 68-76.

下扬子-南黄海地区下三叠统“错时相”沉积及成因

张玉玺^{1,2}, 陈建文^{1,2,3,4*}, 张银国^{1,2,5}

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 青岛海洋科学与技术国家试点实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237; 3 山东科技大学, 青岛 266590; 4 河海大学, 南京 210098; 5 中国石油大学(华东), 青岛 266580)

摘要:“错时相”作为一种地质历史时期的特殊沉积类型,在扬子地区下三叠统广泛发育,是良好的海相碳酸盐岩油气储层之一。通过岩心和野外剖面资料,结合前人已有的研究,分析并总结了下扬子-南黄海地区“错时相”的特征及其分布规律,并探讨了其成因。研究结果表明,“错时相”出现在二叠纪末生物大灭绝后,类型包括薄层灰岩和条带灰岩、微生物岩、蠕虫状灰岩、扁平砾石砾岩等,其发育与特定的古构造、古海洋环境、古生物环境以及海平面的变化密切相关,并伴随着中生代古海洋生态的恢复而消失。研究“错时相”对于进一步认识下扬子-南黄海地区早三叠世古海洋环境和油气储层具有重要意义。

关键词:下扬子; 早三叠世; 错时相; 碳酸盐岩; 古海洋环境

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.037

0 引言

三叠纪是下扬子地区由海相向陆相转换的重要阶段。扬子地区早三叠世海相地层沉积序列完整,是进行二叠—三叠纪(P-T)地层学、古生物学、岩石学以及地球化学等方面研究的理想区域。随着对二叠—三叠系界线附近微生物岩的深入研究,广泛分布于下三叠统的特殊沉积与“错时相”沉积联系在了一起,引起了很多地质、古生物等相关领域专家的关注^[1-4],并在“错时相”的沉积类型、“错时相”与生物的灭绝和复苏的关系方面有了一定的认识。

近年来,随着对扬子地区中—古生界海相碳酸盐岩地层的勘探与开发,相继在上扬子地区下三叠统飞仙关组碳酸盐岩储层中取得了重大油气突破,发现了普光、元坝等特大气田^[5-7],早三叠世“错时相”沉积作为重要储层之一而成为研究的重点。下扬子地区位于扬子地块的东端^[8],范围包括陆域江

苏—皖南地区和海域南黄海盆地,早三叠世沉积厚度大,构造相对稳定。在陆域句容地区 R2、R3 井的下三叠统青龙组灰岩中发现工业油流^[9];在海域南黄海盆地青龙组底部发现有较好的生油层,有效烃源岩厚度为 160~200 m^[8],具有较好的勘探前景。目前在三叠纪生物地层^[10]、年代地层^[11]、层序地层^[12-14]、同位素地层^[15-16]等方面都已取得了重大进展,但缺乏对于下扬子地区下三叠统“错时相”的沉积类型、沉积特征及成因的探讨。本文利用江苏南京地区下三叠统湖山段剖面、江苏地区钻井和南黄海盆地 CSDP-2 井的岩心资料,结合前人对于下扬子地区下三叠统在沉积学、生物学及其地球化学方面的研究,分析下三叠统“错时相”的沉积特征及成因,以期为进一步研究下扬子地区古海洋环境及进行油气勘探提供一定的依据。

1 “错时相”含义

“错时相”沉积最早是由 SEPKOSKI^[17]提出的,在寒武纪以及前寒武纪海洋环境中广泛存在,如扁平砾石砾岩^[17-18]、蠕虫状灰岩^[19-20]、微生物岩^[18,21]、潮下皱纹构造^[18]、海底碳酸盐岩胶结扇^[1,18]、薄层灰岩和条带灰岩^[1,3]等,这些在奥陶纪以后正常浅海环境中出现的非正常沉积现象,被认为是时间上或环境上发生了错位,因此被称为“错时相”(Ana-

收稿日期: 2021-02-17

资助项目: 国家地质调查专项“崂山隆起构造沉积条件地质调查”(DD20190818)

作者简介: 张玉玺(1981—),女,博士,工程师,主要从事储层沉积学方面的研究工作。E-mail: zhyx0829@163.com

* 通讯作者: 陈建文(1965—),男,博士,研究员,主要从事海域油气资源调查评价与研究工作。E-mail: jwchen2012@126.com

chronistic Facies)或“非正常沉积”。

全球范围内已报道的“错时相”沉积主要集中在 2 个区域,一是低纬度的特提斯地区,包括位于西特提斯域的土耳其^[1]、意大利^[3]、阿曼^[22]、匈牙利^[23]等,以及位于东特提斯域的中国华南地区^[18, 24-25];二是古大洋的边缘,如美国西北部^[4]、格陵兰^[24]等地。

2 下扬子地区早三叠世沉积背景

下扬子地区位于扬子地块的东端,自晚元古代的晋宁运动致使扬子地台基底结晶以来,大致经历了 4 个主要演化阶段^[25-26]:震旦纪—中三叠世海相盆地、晚三叠—中侏罗世陆相盆地、晚侏罗—早白垩世陆相火山岩盆地和晚白垩世—古近纪陆相盆地。自古生代至新生代,地层发育齐全,沉积类型多样,生物化石丰富^[27-28]。

晚二叠世中、晚期,南方处于伸展构造环境中,断裂活动加剧,在海西早、中期裂陷槽盆地的基础上持续下陷,海水大规模入侵,下扬子地区沉积了一套深水硅质岩、硅质页岩^[29]。早三叠世,下扬子地块继承了晚二叠世晚期的古地理格局,南侧与华夏地块已经拼合,北侧与华北地台直到中—晚三叠世才发生俯冲、碰撞^[30-32],呈现一种“南浅北深”的古地理面貌。受晚二叠世末大范围海侵的影响,下扬子地区早三叠世为温暖清洁的陆表海,沉积物以泥页岩、泥灰岩、颗粒灰岩和泥晶灰岩为主,自东南向西北依次发育碳酸盐岩台地、台缘斜坡和浅海陆棚相(图 1)。

下三叠统在江苏南京地区及南黄海盆地分为

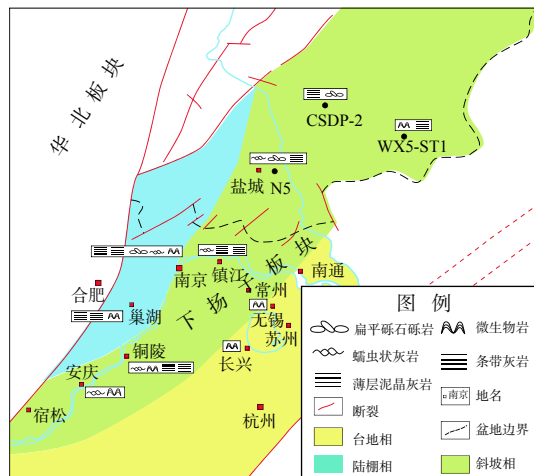


图 1 下扬子地区下三叠统沉积相及“错时相”平面分布

Fig.1 The distribution of sedimentary facies and anachronistic facies of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

青龙组上段和青龙组下段,在江苏无锡以及浙江地区分为殷坑组、和龙山组 and 南陵湖组,在安徽地区分为殷坑组、和龙山组 and 扁担山组。

3 下扬子地区“错时相”沉积特征

“错时相”沉积在扬子地区下三叠统普遍发育,甚至局部区域延伸到中三叠统^[18]。下扬子地区已发现的“错时相”类型有薄层灰岩及条带灰岩、微生物岩、蠕虫状灰岩、扁平砾石砾岩。

3.1 薄层灰岩和条带灰岩

薄层灰岩和条带灰岩在下扬子地区下三叠统广泛分布。薄层灰岩以灰色、深灰色、浅灰色为主,地层下部多以薄层状产出,向上则厚度有逐渐加厚的趋势(图 2a)。条带灰岩是指泥晶灰岩与钙质页/泥岩互层的岩相类型,以灰色、深灰色为主。薄层灰岩和条带灰岩成分比较单一,多呈泥晶结构,主要由泥晶方解石组成,缺乏生物扰动,几乎不含化石(图 2)。

3.2 微生物岩

微生物岩是指由微生物的骨骼构造岩石的主要成分,或者是由微生物的生长或生理活动引起沉积物沉淀所形成的岩石^[33](图 3),包括叠层石、核型石、树枝石、凝块石以及某些鲕粒、团粒、球粒和泥晶等微生物岩^[34-39]。研究表明,我国华南地区早三叠世的微生物岩大多产于二叠—三叠系之交的大灭绝线之上,与牙形石带 *H. parvus* 相对应^[33]。

中、上扬子地区,微生物岩大多发育在二叠纪末生物礁相之上,形成“礁-微生物岩的沉积模式”^[38]。下扬子地区由于沉积环境的不同,各地存在差异:浙江长兴煤山发育丘状微生物岩^[40](图 3a);江苏无锡地区下三叠统发育鲕粒灰岩^[30];安徽巢湖地区二叠—三叠系界线附近发育球粒状微生物^[41],和龙山组发育微生物席和叠层石^[42];南黄海盆地 WX5-ST1 井在青龙组上段发育亮晶鲕粒灰岩^[37],鲕粒圆度较好,粒径约 2 mm(图 3b);苏北地区长生 1 井青龙组发现生物碎片微结构。下扬子地区微生物岩的形式虽然有很多种,但主要以碳酸盐岩形式产出(图 3),多具有泥晶或微晶结构。

3.3 蠕虫状灰岩

蠕虫状灰岩因灰岩内含有形似蠕虫的粒状

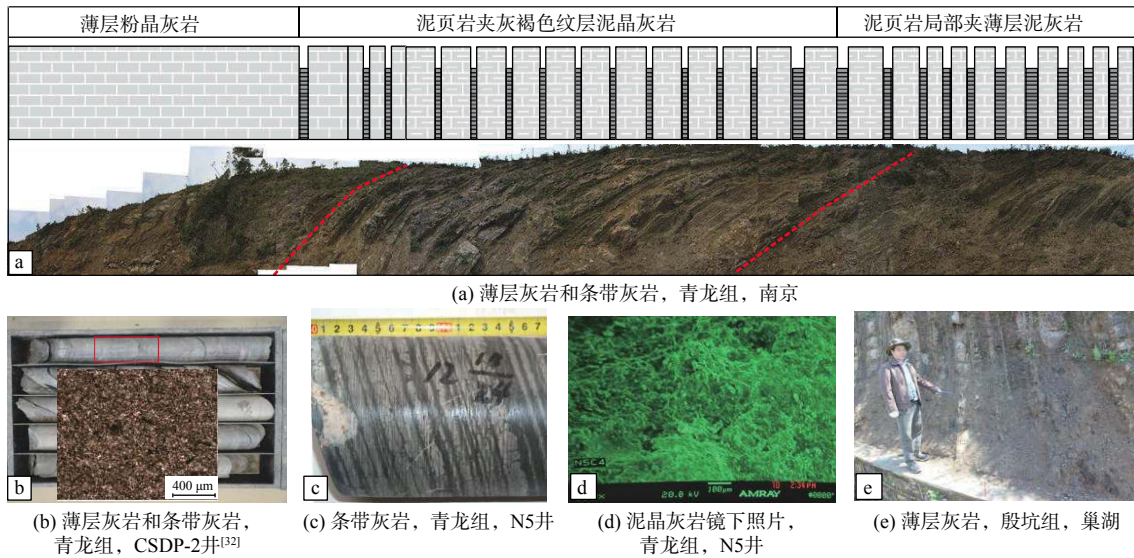


图2 下扬子地区下三叠统薄层灰岩和条带灰岩

Fig.2 The thin-bedded limestone and zebra limestone of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

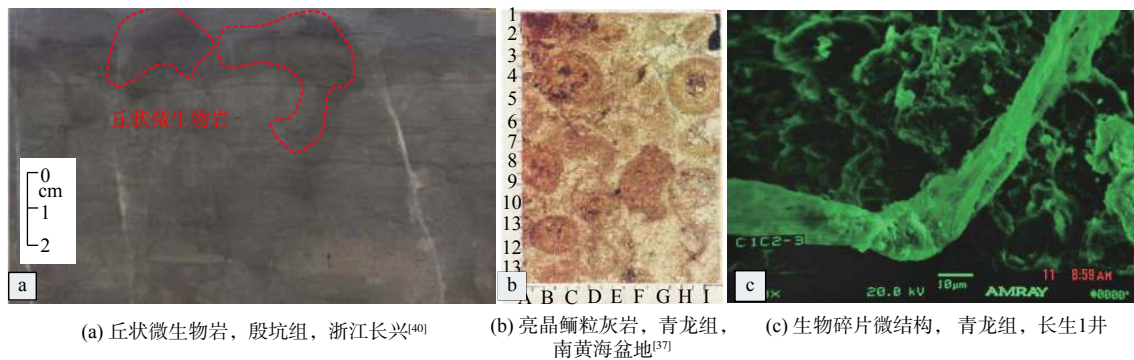


图3 下扬子地区下三叠统微生物岩类型

Fig.3 Types of microbiolites of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

体而得名,其在结构上由深色“蠕体”和浅色“基质”2部分组成。“蠕体”以方解石为主,而“基质”的成分比较复杂,二者被认为是不同源物质^[18]。江苏地区N5井青龙组岩心可以观察到深灰色含“蠕虫状”泥晶灰岩,“蠕体”形态各异,有竹叶状、短条状、粒状、絮状等形态,大小不一、杂乱无序地分布于基质中(图4a),发育方解石脉和微裂缝;江苏镇江和安徽宿松地区的蠕虫状灰岩,不仅发育杂乱无序的层段,同时存在层状或似层状,在垂向剖面上具有明显的韵律性,层间界线明显,蠕虫状灰岩多与泥晶灰岩互层产出,发育方解石脉(图4b、c)^[20]。

3.4 扁平砾石砾岩

扁平砾石砾岩由板片状泥晶灰岩和灰泥基质组成,灰泥胶结,单个砾石呈椭圆状、棱角状及不规则状,总体呈叠瓦状和不规则状。砾石层上下界面

明显,纵向上与薄层泥晶灰岩存在共生组合关系,即泥岩/薄层泥晶灰岩-扁平砾石砾岩-薄层泥晶灰岩(图5)。

4 分布特征

4.1 平面分布

研究区内下三叠统“错时相”沉积分布十分广泛。薄层灰岩和条带灰岩是下三叠统的主要沉积类型,在下扬子地区的陆域和海域皆有分布。蠕虫状灰岩主要分布在江苏镇江,安徽铜陵、贵池、宿松、广德,浙江长兴等地^[20]。微生物岩在各地的分布类型有所不同:浙江长兴煤山殷坑组发育丘状微生物岩^[40-41],江苏无锡青龙组发现叠层石生物丘^[21],安徽巢湖地区在和龙山组上部以及南陵湖组下部发现微生物席、层状和柱状叠层石^[42];南黄海盆地

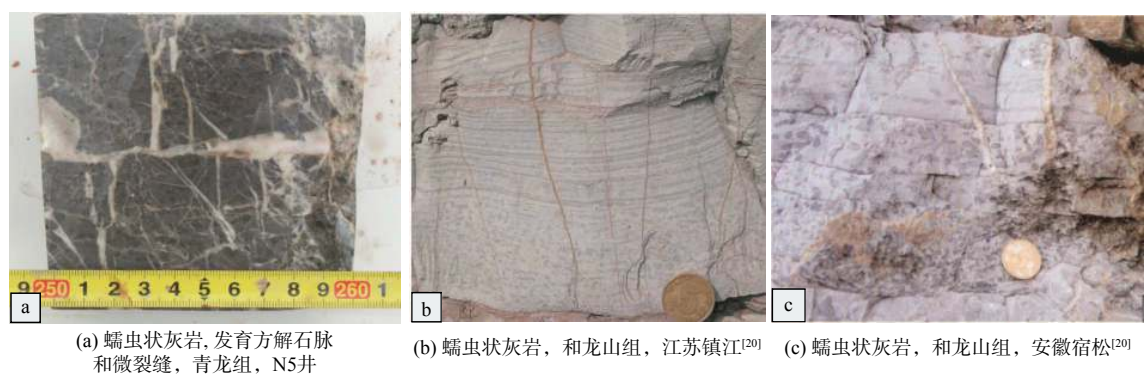


图 4 下扬子地区下三叠统蠕虫状灰岩

Fig.4 Wormlike limestone of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

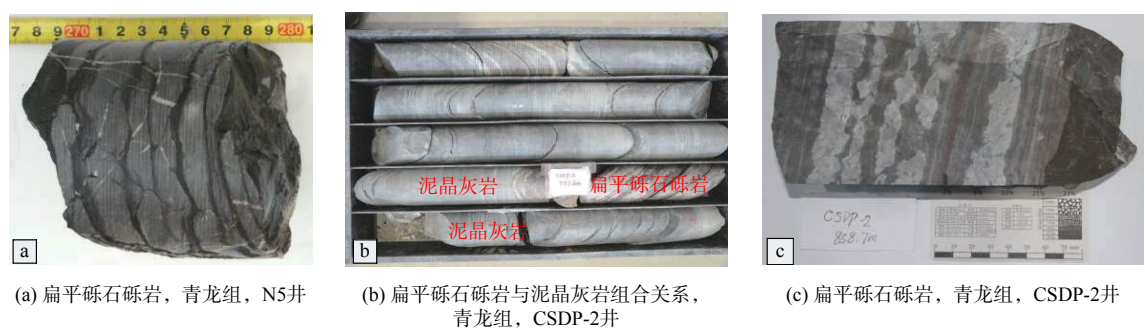


图 5 下扬子地区下三叠统扁平砾石砾岩

Fig.5 Flat pebble conglomerate of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

WX5-ST-1 井青龙组上部发育鲕粒亮晶灰岩^[37], CSDP-2 井发育生物潜穴和生物化石^[32]。扁平砾石砾岩主要分布在江苏南京、镇江、N5 井以及南黄海盆地的 CSDP-2 井。从“错时相”的平面分布来看,其主要分布在斜坡相沉积区,有少量微生物岩分布在台地相区,少量薄层灰岩和条带灰岩分布在盆地相区。

4.2 垂向分布

早—中三叠世,全球发生大规模海侵,海平面上升,而扬子区却略有差别,期间发生多次规模不等的海侵和海退。印度期早期自成一旋回^[43],最大一次海退发生在印度期末,最大一次海侵发生在中奥伦期^[13],伴随着扬子板块与华北板块的碰撞使扬子板块抬升,海平面开始持续下降。因此,将早三叠世划分 3 个时段来分析,分别是印度期、早奥伦期

和晚奥伦期(表 1)。

早三叠世,下扬子地区是一个自东南向西北海水逐渐变浅的斜坡地带。印度期沉积时,江苏无锡一带为碳酸盐岩台地相,主要发育鲕滩沉积;向西北方向,镇江—常州一带位于台缘斜坡相,主要发育泥岩、薄层灰岩及泥晶灰岩;而靠近巢湖地区,属于浅海陆棚相,主要发育泥岩、泥灰岩、硅质泥岩及页岩。印度期末发生最大规模海退,早奥伦期相对于印度期水体整体变浅,江苏无锡一带仍发育台缘鲕滩,局部出现白云岩;南京—常州一带发育瘤状灰岩、泥晶灰岩及蠕虫状灰岩;靠近无锡地区的常州一带出现鲕滩沉积;巢湖地区仍为浅海陆棚相,发育泥灰岩和瘤状灰岩。中奥伦期发生了一次最大规模的海侵,以青龙组沧波门段的瘤状灰岩、薄层泥晶灰岩和泥灰岩为代表。大规模的海侵之后,扬子板

表 1 下扬子地区下三叠统“错时相”分布

Table 1 The anachronistic facies distribution of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region

地层	巢湖 ^[30, 41]	南京 ^[44]	常州 ^[44]	无锡 ^[30, 45]	
下三叠统	上奥伦阶	泥灰岩、瘤状灰岩、蠕虫灰岩	鲕粒灰岩、蠕虫灰岩、扁平砾石砾岩	泥晶灰岩、鲕粒灰岩	白云岩
	下奥伦阶	泥灰岩、瘤状灰岩	瘤状灰岩、泥晶灰岩、蠕虫状灰岩	泥晶灰岩、瘤状灰岩、鲕粒灰岩	泥晶灰岩、鲕粒灰岩、白云岩
	印度阶	页岩、硅质泥岩、泥灰岩	泥岩、页岩夹薄层灰岩	泥岩、泥晶灰岩	泥晶灰岩、鲕粒灰岩

块抬升导致的持续海退使台地相沉积明显向西北迁移,江苏无锡一带已处于台地内部的潟湖环境,广泛发育白云岩沉积;南京—常州一带则已处于斜坡上部,发育以鲕粒灰岩、蠕虫状灰岩及泥晶灰岩为主的沉积,同时夹杂扁平砾石砾岩(图6)。

“错时相”在空间上交替出现的展布特征反映出下扬子地区早三叠世海侵-海退的沉积环境。以

蠕虫状灰岩为例,在早三叠世印度期,仅在江苏无锡地区地层中出现;在早奥伦期,南京—常州一带广泛发育;晚奥伦期在安徽巢湖一带发育。随着海水在下扬子地区的退出,碳酸盐岩台地向西北迁移,蠕虫状灰岩呈现出明显的迁移。最终,伴随着海水在下扬子地区的退出,“错时相”沉积也在地层记录中消失。

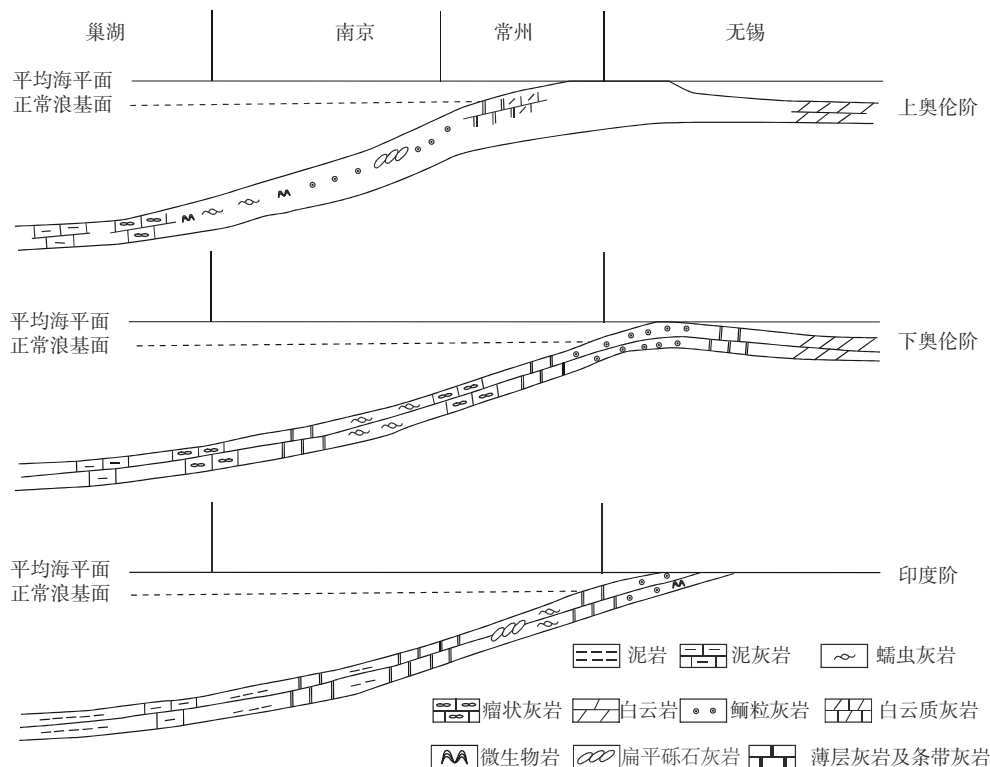


图6 下扬子地区下三叠统“错时相”沉积迁移模式图^[29, 40, 43-44]

Fig.6 Sedimentary migration pattern of the anachronistic facies of the Lower Triassic in the Lower Yangtze region^[29, 40, 43-44]

5 “错时相”成因

下扬子地区“错时相”属于典型的海相碳酸盐岩沉积,出现在二叠纪末期生物大灭绝之后,伴随着中生代海洋生态系统的恢复而消失,受古构造、古海洋环境、古生物环境、海平面升降等多种复杂因素影响。

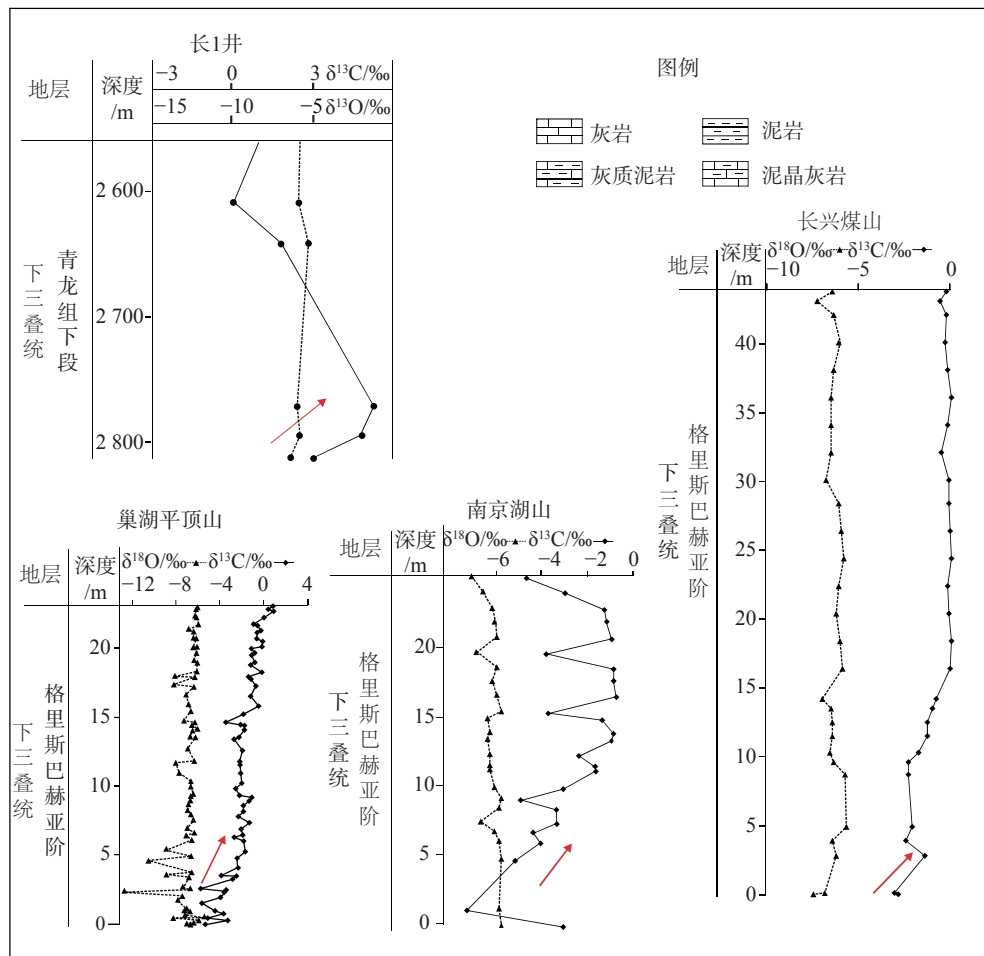
5.1 古构造因素

蠕虫状灰岩、薄层灰岩和条带灰岩以及扁平砾石砾岩都具有原始沉积成层完好的特点,稳定的构造环境是海相碳酸盐岩沉积的根本条件。早三叠世印度期,下扬子地块继承了二叠世末的古地理格局,发生区域性的海侵,南浅北深,并在早三叠世中期达到海侵高峰,相对于二叠纪末的海域有所扩大。

早三叠世初期的海侵携带大量的陆源碎屑物质在此沉积,进而填平了前期古构造造成的海底地形的差异,形成了从东南向西北倾斜的整体缓坡地形。因与上扬子地区古构造有所不同,所以,下扬子地区“错时相”的类型和分布也与上扬子地区有较大区别。在二叠—三叠系之交,下扬子地区主要以下三叠统薄层泥岩、钙质泥岩以及薄层灰岩上覆于二叠系大隆组的黑色页岩及硅质页岩之上,而上扬子地区二叠—三叠系之交呈“礁滩”沉积。下扬子地区的“错时相”伴随着海退和沉积相带的演化,由薄层灰岩、条带灰岩、微生物岩、蠕虫状灰岩、砾石砾岩逐次出现。

5.2 古海洋环境因素

通过前人对下扬子地区碳酸盐岩碳氧同位素曲线(图7)研究可以看出,碳氧同位素在早三叠世



巢湖、湖山、长兴资料来自左景勋^[15]

图 7 下扬子地区下三叠统地层同位素特征曲线图

Fig.7 Isotope characteristic curve of the Lower Triassic strata in the Lower Yangtze region

出现负异常,且呈现周期性的波动。早三叠世初期,不论是位于碳酸盐岩台地区域的长兴煤山还是处于浅海陆棚的安徽巢湖,碳氧同位素都经历了一个由负异常到逐渐恢复的过程,只是在变化幅度上存在一定的差异,说明古环境的变化具有区域上的一致性,变化幅度的差异与所处的古地理位置相关。

下扬子地区早三叠世碳同位素的负值与海洋生产力低相关,这与生物大灭绝后古海洋停滞、缺氧相对应。氧同位素的变化与古环境温度相关, $\delta^{18}\text{O}$ 值越低,温度越高,根据早三叠世氧同位素可以估算出当时的海水温度约为 40 °C。海水温度升高,有利于水中 CO_2 分解降压,促进重碳酸钙过度饱和和沉淀。停滞、缺氧、温暖的古海洋环境为碳酸盐岩的快速沉淀提供了有利条件。

5.3 古生物环境因素

二叠—三叠纪之交发生了显生宙以来最大规模的一次生物大灭绝。早三叠世整个海洋普遍缺氧,

海洋中生物稀少,大多数底栖生物不复存在,以至于不能形成较强的生物扰动,导致大多数纹层沉积、水平层理、薄层灰岩中生物扰动作用弱。而在生物大灭绝后的极端环境中,微生物广泛存在并出现繁盛,微生物既是生产者,又是消费者,与环境直接作用,尤其是在浅水台地区域。整个扬子地区发育微生物岩。

5.4 海平面升降因素

海平面的升降引起海水深度和动荡程度的变化,对于碳酸盐岩的沉积特征有明显控制作用。从“错时相”的空间分布规律来看,随着海退,“错时相”类型从台地到陆棚逐次出现。以无锡嵩山地区为例(图 8),“错时相”在地层中的产出具有一定的先后顺序,同时存在一定的周期性。早三叠世,该地区处于碳酸盐岩台地,鲕粒和核形石等较发育。从剖面上来看,鲕粒、核形石交替出现。同时,自下而上,鲕粒也是由大到小,由球形变成椭球形^[30]。

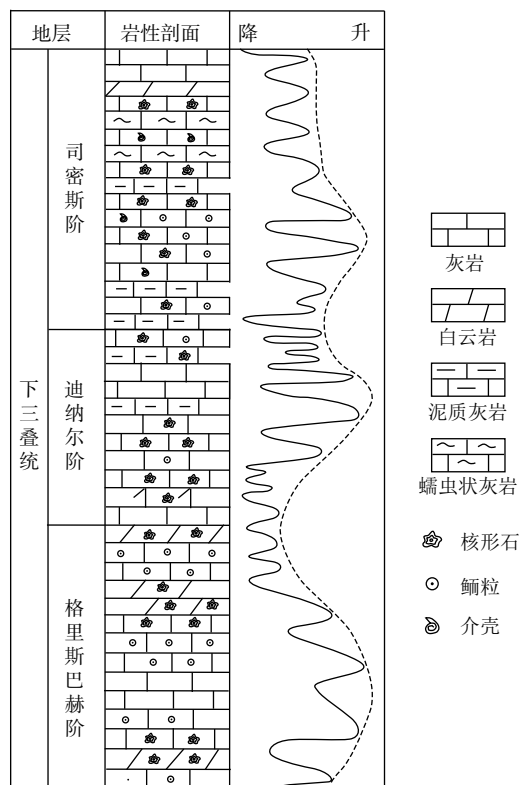


图8 下扬子地区“错时相”与海平面变化的关系

Fig.8 The relationship of anachronistic facies and the sea level changes in the lower Yangtze region

鲕粒代表强烈的高能量水体环境, 鲕粒形成的能量与其大小形态相一致。鲕粒的交替出现以及大小形态的变化, 说明海平面的频繁波动, 带动水体能量的变化。随着进一步的海退, 海平面再次下降, 灰岩白云化, 蠕虫状灰岩在司密斯期出现。

6 结论

(1) “错时相”是时间上或环境上发生了错位的特殊沉积现象, 下扬子地区“错时相”沉积的主要类型有蠕虫状灰岩、薄层灰岩和条带灰岩、扁平砾石砾岩和微生物岩。

(2) 下扬子地区早三叠世“错时相”沉积的发育类型与该时期的沉积格局相对应。扁平砾石砾岩和蠕虫状灰岩主要发育在台缘斜坡上部, 鲕粒等微生物岩发育在碳酸盐岩台地, 条带灰岩及薄层灰岩发育在台缘斜坡下部及浅海陆棚区域。伴随着海水的进退, 垂向上呈现交替出现的规律性。

(3) “错时相”沉积作为一种特殊的沉积类型, 在下扬子地区下三叠统广泛发育。温暖湿热的气候、停滞缺氧的古海洋环境、生物的灭绝、后生动物的减少以及微生物的繁盛是形成“错时相”的

重要因素, 生物扰动作用减弱和快速的同沉积作用起了关键性作用, 海平面的升降也有一定控制作用。

参考文献:

- [1] PRUSS S B, BOTTJER D J, CORSETTI F A, et al. A global marine sedimentary response to the end-Permian mass extinction: examples from southern Turkey and the western United States[J]. *Earth-Science Reviews*, 2006, 78: 193-206.
- [2] DENG B Z, WANG Y B, LI G S, et al. Lower Triassic anachronistic facies capping the Qinghai-Tibet Plateau seamount: implications for the extension of extraordinary oceanic conditions deep into the interior Tethys Ocean[J]. *Global and Planetary Change*, 2015, 132: 31-38.
- [3] WIGNALL P B, TWITCHETT R J. Unusual intraclastic limestones in Lower Triassic carbonates and their bearing on the aftermath of the end-Permian mass extinction[J]. *Sedimentology*, 1999, 46(2): 303-316.
- [4] WOODS A D, ALMS P D, MONARREZ P M, et al. The interaction of recovery and environmental conditions: an analysis of the outer shelf edge of western North America during the early Triassic[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2019, 513: 52-64.
- [5] 马永生, 郭旭升, 凡睿. 川东北普光气田飞仙关组鲕滩储集层预测[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 60-64.
- [6] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 元坝气田长兴组—飞仙关组礁滩相储层特征和形成机理[J]. *石油学报*, 2014, 35(6): 1001-1011.
- [7] 谭秀成, 牟晓慧, 罗冰, 等. 四川盆地南部下三叠统飞仙关组一段台内鲕滩的主控因素[J]. *古地理学报*, 2010, 12(1): 49-55.
- [8] 陈建文, 龚建明, 李刚, 等. 南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力巨大[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 1-7.
- [9] 花彩霞. 下扬子句容地区海相上组合油气地质条件评价[J]. *地质学刊*, 2014, 38(2): 200-205.
- [10] 童金南, 王德珏. 三叠纪年代地层与生物复苏[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(12): 1321-1326.
- [11] 殷鸿福, 宋海军. 古、中生代之交生物大灭绝与泛大陆聚合[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2013, 43(10): 1539-1552.
- [12] 童金南, 殷鸿福. 三叠纪年代地层与中国建阶[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2015, 40(2): 189-197.
- [13] 程日辉, 王璞珺, 刘万洙, 等. 下扬子区三叠纪层序地层样式对扬子板块与华北板块碰撞的响应[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(2): 134-141.
- [14] ZHANG Y X, CHEN J W, ZHOU J Y, et al. Sedimentological sequence and depositional evolutionary model of Lower Triassic carbonate rocks in the South Yellow Sea Basin[J]. *China Geology*, 2019, 2(3): 301-314.
- [15] 左景勋, 童金南, 邱海鸥, 等. 下扬子地区早三叠世碳酸盐岩碳同位素组成的演化特征[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2006, 36(2): 109-122.
- [16] 宋海军, 童金南, 熊炎林, 等. $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ -深度梯度的剧增与二叠纪末生物大灭绝[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2012, 42(8):

- 1182-1191.
- [17] SEPKOSKI J J. Flat-pebble conglomerates, storm deposits, and the Cambrian bottom fauna[C]//EINSELE G, SEILACHER A. Cyclic and Event Stratification. Heidelberg: Springer-Verlag, 1982: 371-385.
- [18] 赵小明,牛志军,童金南,等. 早三叠世生物复苏期的特殊沉积:“错时相”沉积[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 314-323.
- [19] 钱守荣. 蠕虫状灰岩中的同生变形构造及其成因[J]. 安徽地质, 1996, 6(1): 38-42.
- [20] 张杰,童金南. 下扬子地区下三叠统蠕虫状灰岩及其成因[J]. 古地理学报, 2010, 12(5): 535-548.
- [21] 钱迈平. 中下扬子区海相三叠纪叠层石及其环境演变[J]. 古生物学报, 1995, 34(6): 731-741.
- [22] WOODS A D, BAUD A. Anachronistic facies from a drowned Lower Triassic carbonate platform: Lower Member of the Alwa Formation (Baid Exotic), Oman Mountains[J]. Sedimentary Geology, 2008, 209: 1-14.
- [23] HIPS K, HAAS J. Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in a western Tethyan section, Bükk Mountains, Hungary[J]. Sedimentary Geology, 2006, 185(3): 239-253.
- [24] WIGNALL P, TWITCHETT R. Permian-Triassic sedimentology of Jameson Land, East Greenland: incised submarine channels in an anoxic basin[J]. Journal of the Geological Society, 2002, 159: 691-703.
- [25] 陈建文,雷宝华,梁杰,等. 南黄海盆地油气资源调查新进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(3): 1-23.
- [26] 吴淑玉,刘俊,陈建文,等. 南黄海崂山隆起石炭系—下二叠统孔隙型碳酸盐岩储层预测[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(5): 136-148.
- [27] 芮晓庆,周圆圆,李志明,等. 苏北盆地阜宁组源储特征及页岩油勘探方向探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(6): 133-145.
- [28] 李双林,董贺平,王建强,等. 南黄海盆地崂山隆起中南部海域油气目标地球化学探测:海底油气渗漏与双环状地球化学异常[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(2): 137-149.
- [29] 王明健,张训华,孟祥君,等. 南黄海盆地地下三叠统层序地层格架[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(7): 28-35.
- [30] 冯增昭,吴胜和. 下扬子地区中、下三叠统青龙群岩相古地理研究及编图[J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 40-58.
- [31] 陈建文,许明,雷宝华,等. 华北-扬子板块碰撞结构的识别:来自南黄海海域的证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(3): 3-14.
- [32] 李文强,郭兴伟,王艳忠,等. 基于海陆对比建立苏北-南黄海盆地晚二叠世—早三叠世地层格架[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(1): 18-30.
- [33] 吴亚生,姜红霞, WAN Y, 等. 二叠纪—三叠纪之交缺氧环境的微生物和微生物岩[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2007, 37(5): 618-628.
- [34] 姜红霞,吴亚生. 江西修水二叠系—三叠系界线地层树枝状微生物岩状岩石成因初解[J]. 地质论评, 2007, 53(3): 323-328.
- [35] 吴亚生,姜红霞,虞功亮,等. 微生物岩的概念和重庆老龙洞剖面P—T界线地层微生物岩成因[J]. 古地理学报, 2018, 20(5): 737-775.
- [36] 刘丽静,姜红霞,吴亚生,等. 中国南方晚二叠世—早三叠世礁区生物群落演替序列与古环境变化:以四川盆地东北部盘龙洞剖面为例[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2014, 44(4): 617-633.
- [37] 梁杰,张银国,董刚,等. 南黄海水相中—古生界储集条件分析与预测[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(5): 101-108.
- [38] 周志澄,罗辉, WILLEMS H, 等. 四川江油渔洞子二叠系—三叠系之交两种不同生物沉积之间的生态系突变[J]. 古生物学报, 2016, 55(1): 70-86.
- [39] 郭兴伟,朱晓青,牟林,等. 南黄海中部隆起二叠纪—三叠纪菊石的发现及其意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(3): 121-128.
- [40] 曹长群,郑全锋. 煤山二叠纪—三叠纪过渡期事件地层时序的微观地层记录[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(4): 481-487.
- [41] 张红剑,周跃飞,谢巧勤,等. 安徽巢湖二叠系—三叠系界线微生物岩研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2017, 40(6): 822-828.
- [42] 张利伟,洪天求,贾志海. 安徽巢湖北部地区下三叠统和龙山组微生物岩及其意义[J]. 地质科学, 2011, 46(2): 392-403.
- [43] 殷鸿福,童金南. 扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化[J]. 地球科学(D辑:地球科学), 1994, 19(5): 627-632.
- [44] 刘计勇. 下扬子三叠系礁滩相储层分布特征[J]. 油气藏评价与开发, 2016, 6(6): 1-6.
- [45] 童金南,李红丽. 江苏无锡嵩山下三叠统层序地层研究[J]. 地层学杂志, 1996, 4(20): 257-261.

ANACHRONISTIC FACIES AND ITS ORIGIN OF THE LOWER TRIASSIC IN THE LOWER YANGTZE-SOUTH YELLOW SEA AREA

ZHANG Yuxi^{1,2}, CHEN Jianwen^{1,2,3,4*}, ZHANG Yinguo^{1,2,5}

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3 Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

4 Hohai University, Nanjing 210098, China; 5 China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: As a special type of sediments in geological history, anachronistic facies developed widely of the Lower Triassic in the Yangtze region as a high quality carbonate reservoir. Based on the data from drilling cores and field sections, combined with previous studies, this paper analyzes and summarizes the characteristics and distribution pattern of the anachronistic facies in the lower Yangtze-South Yellow Sea region, and discussion its genesis. The results show that the anachronistic facies including thin-bedded limestone and zebra limestone, microbialite, wormlike limestone and flat pebble conglomerates, appeared right after the biological mass extinction by the end of Permian and disappeared immediately with the restoration of Mesozoic palaeoceanic ecosystem. The development of anachronistic facies is closely related to the paleostructure, palaeo-marine environment, palaeontological environment and sea level change, so the study of anachronistic facies is of great significance for further understanding of the palaeo-environment and oil and gas reservoirs of Early Triassic in the lower Yangtze-South Yellow Sea region.

Key words: Lower Yangtze region; Early Triassic; anachronistic facies; carbonate rocks; palaeo-marine environment