

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

程日辉, 王璞¹, 刘万洙, 唐华风, 白云凤, 孔庆莹, 宋维海

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 下扬子区三叠纪层序地层的发育特征反映出巨大的沉积环境改变和气候变迁, 即从海相环境过渡为海陆交互环境, 进而转变为陆相环境; 从热带气候过渡为副热带干旱气候, 进而转化为温暖潮湿气候。相应的层序类型也由II型碎屑岩与碳酸盐混合层序、I型台地碳酸盐层序、I型碳酸盐潮坪—泻湖层序转变为II型海陆过渡湖泊层序和陆相湖沼层序。各种类型层序的发育、分布和保存揭示了背景的构造控制作用与改变。华北板块与扬子板块碰撞是地史上的重大地质事件, 但在碰撞时间上存在着争议。下扬子区三叠纪层序地层类型转化及其反映出的海平面变化与全球海平面变化的不一致性是扬子板块与华北板块碰撞的响应。碰撞作用开始于中三叠世, 下扬子区大规模海退比全球性海退提前约22Ma。碰撞前和碰撞过程中的构造条件控制了层序地层的发育与类型转化。

关键词: 华北板块; 扬子板块; 下扬子区; 三叠纪; 层序; 响应

中图分类号: P534.51; P542 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2004)02-0134-08

0 引言

华北板块与扬子板块碰撞是东亚大陆地质历史上的重大地质事件, 它不仅涉及大别—苏鲁造山带的形成, 也影响到周边盆地的形成、发育和演化。扬子板块与华北板块的碰撞时间是研究的焦点之一。许多研究成果主要是依据超高压变质带的形成时代和古地磁极移曲线研究取得的, 同时也包括了区域地质和相关沉积特征的综合分析。由于研究与分析所依赖的资料和研究角度的不同, 目前关于扬子板块与华北板块碰撞时间和方式仍存在不同的认识。

下扬子区位于大别—苏鲁造山带以南地区, 中生代经历了复杂的构造变动, 其中三叠纪的构造变动改变了自震旦纪以来稳定的海相沉积环境和古地理格局, 转化为陆相背景。盆地地层记录被认为可

以提供关于盆地演化的外力驱动的唯一完整记录(Gupta and Cowie, 2000), 这种外力显然与区域造山和深部作用相连。下扬子区三叠纪发育的层序由海相类型向海陆交互和陆相类型的转化反映了层序地层控制因素的变化, 如相对海平面变化、气候变化、沉积物供给速率变化、沉降幅度和速率变化等。这些控制因素的变化揭示出其后更大级别的构造变动, 并叠加有全球海平面的变化的影响。本文讨论下扬子区三叠纪层序地层特征、控制因素以及和扬子板块与华北板块碰撞的关系。

1 层序地层发育与类型

1.1 岩性、岩相序列

下扬子区三叠纪层序是在二叠纪末期海退之后的背景下发育的。综合研究区的区域地质调查资料^{①②}、

收稿日期: 2003-06-02; 改回日期: 2003-07-27

基金项目: 国家自然科学基金(49672142)、原长春科技大学创新基金(20003)资助。

作者简介: 程日辉(1963-), 男, 博士, 副教授, 从事沉积学和盆地分析研究。Email: chengrh@email.jlu.edu.cn

① 江苏省区调队, 1965. 1:200000 常州幅地质图说明书。

② 江苏省区调队, 1976. 1:200000 无锡幅、苏州幅区域地质调查报告。

《江苏省岩石地层》(徐学田, 1997)和本项研究的野外调研, 三叠纪地层序列自下而上为: 早三叠世青龙组(湖山段和沧波门段)、中三叠世周冲村组、晚三叠世黄马青组和范家塘组(图1)。

青龙组湖山段主要为灰黄色、灰色泥岩和泥灰岩。下部以泥岩为主夹有泥灰岩, 中部则为泥岩和泥灰岩互层, 而上部以灰岩、泥灰岩为主夹有泥岩。垂向上总的变化特征是泥岩逐渐减小而灰岩逐渐增加。这套岩性序列发育在南京—镇江一带。向东的

宜兴—溧阳一带岩性发生变化, 一是泥岩的比例减小, 另是夹有风暴成因的块状泥晶砾屑灰岩(钱迈平和郭佩霞, 1995)。再向东部至苏州—无锡一带岩性进一步发生变化, 不仅泥岩继续减少, 而且发育了内碎屑灰岩、鲕粒灰岩、核形石灰岩、叠层石灰岩和白云质砂屑灰岩。序列的上部发育有虫迹构造和鸟眼构造。湖山段与二叠系大隆组或长兴组为整合关系。本段总体为细碎屑岩与碳酸盐混合的斜坡碳酸盐相。

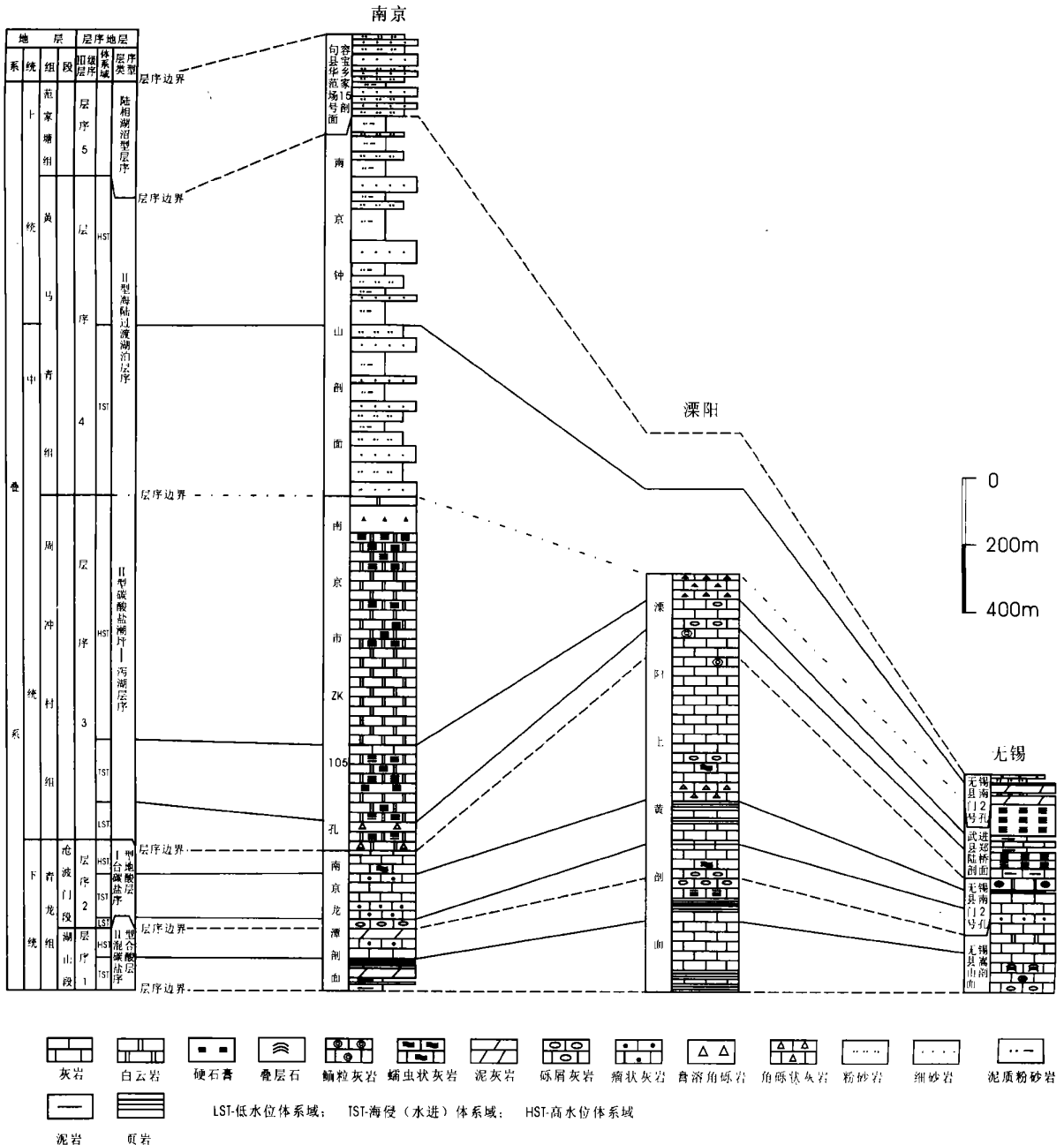


图1 下扬子地区三叠纪层序地层对比

Fig. 1 Correlation of Triassic sequence stratigraphy in Lower Yangtze area

青龙组沧波门段可以分为两个岩性亚段。下亚段是瘤状灰岩段,为灰色粉晶灰岩与灰黄、灰紫色泥晶瘤状灰岩互层;上亚段是蠕虫状灰岩段,为灰色蠕虫灰岩和粉晶、微晶灰岩互层,在顶部白云质成分和膏盐成分增加。这套岩性序列发育在南京—镇江一带。在宜兴—溧阳地区下亚段瘤状灰岩明显减少,上亚段为蠕虫状灰岩夹泥晶砾屑灰岩和虫迹灰岩,顶部还发育亮晶鲕粒灰岩。在苏州—无锡地区下部为泥晶砂屑灰岩与亮晶鲕粒灰岩互层,上部为泥晶灰岩、微晶灰岩和亮晶鲕粒灰岩。本段总体为碳酸盐台地相。

周冲村组在南京—镇江地区可以分为两段。下段主要为膏溶角砾岩、泥晶灰岩和微晶白云岩,并发育有石膏矿层;上段主要为泥晶灰岩、泥晶白云岩、膏溶角砾岩和粉砂质泥岩,鸡丝铁笼构造发育。在宜兴—溧阳地区主要为微晶灰岩、白云质灰岩和少量的砾屑灰岩,发育鸟眼构造和石膏假晶。在苏州—无锡地区主要为细晶灰岩和粗晶灰岩,局部地区发育膏盐(如武进县郑陆桥),在顶部常常发育暴露性构造。本组总体为碳酸盐潮坪—咸化泻湖相。

黄马青组岩性分为上、下两部分。下部为灰黄—灰绿色薄—厚层状细粒长石砂岩与粉砂岩互层。上部薄—厚层状紫色—紫红色杂砂岩与粉砂质泥岩互层,局部夹有砾岩,发育斜层理。本组总体为海陆交互的湖泊相。

范家塘组主要为深灰色中—厚层细粒长石石英砂岩、粉砂岩与黑色中薄层泥岩互层,夹有煤层,富含黄铁矿结核。本组总体为湖沼相。

1.2 层序与类型

根据岩性岩相的序列特征、界面特征、时限特征和古生物特征,可将下扬子区三叠纪发育的地层划分为 5 个三级层序和两个 2 级层序(图 2)。

层序 1 相当于青龙组湖山段,底部层序边界为湖山段与上二叠统间的整合或平行不整合界面,上界面为沧波门段的底界。本层序由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域以下部的泥岩夹泥灰岩以及泥灰岩和泥岩互层为代表,反映海侵规模不断扩大,总体上是在浅海范围内变化的环境。泥质沉积物的逐渐减少是和海域扩大、远离陆缘碎屑供给区有关。浙西、赣东北一带也属于同一个三叠纪海盆,本阶段那里发育有钙质粉砂岩和砂质页岩沉积(钱迈平和郭佩霞 1995),属于滨—浅海沉积,这显示陆缘碎屑物源区来自于南方的古陆。在海侵体系域的顶部出现纹层状泥灰岩、叶片状泥岩。海侵在此达到最大期,形成最大海泛面,凝缩段沉积以上述岩性为代表。高水位体系域以

上部的灰岩、泥灰岩夹泥岩为代表,反映斜坡碳酸盐的良好发育。碳酸盐的良好发育与陆缘碎屑减少,水体清澈、阳光充足和生物繁盛等条件有关。局部地区的碳酸盐发育在海侵阶段就开始了,如无锡嵩山地区由于水下高地的存在,在海侵开始就没有接受泥质沉积,就形成碳酸盐浅滩。其它地区如苏州、宜兴、广德、南陵等地的碳酸盐发育也比南京—巢湖一带要早,反映南京—巢湖一带水体较深。从陆缘碎屑物源区方向和水深变化来看,早三叠世下扬子海盆呈南浅北深的古地理面貌。由于条件的适宜,碳酸盐沉积快速的垂向生长,使得海水变浅,海平面相对下降,以至出现了暴露标志,在苏州—无锡一带出现了鸟眼构造。至此斜坡碳酸盐体系转化为台地碳酸盐体系,结束了层序 1 的发育。层序 1 属于 II 型碎屑岩与碳酸盐混合层序。

层序 2 相当于青龙组沧波门段,底界是沧波门段底部的侵蚀性不整合面,顶界为沧波门段顶界。本层序由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水位体系域以一套泥晶砾屑灰岩为主,位于侵蚀性的不整合界面之上。侵蚀界面的形成与碳酸盐台地前缘斜坡的滑塌—重力流有关。这显示了海平面已下降至台地边缘之下,台地可能暴露和遭受剥蚀。海进体系域以沧波门段的瘤状灰岩亚段的泥晶瘤状灰岩和粉晶灰岩互层为代表。向上瘤状灰岩增多,这反映出水深已近于碳酸盐补偿深度附近,出现碳酸盐溶解相(孟祥化和葛铭, 1993),预示着最大海泛期的到来。由南京—镇江地区向东至宜兴—溧阳和苏州—无锡地区,代表深水溶解相的瘤状灰岩逐渐减少以至尖灭消失,反映该区由于基底地势的原因没有达到深水条件,仍然保持浅滩环境。苏州—无锡地区以发育亮晶鲕粒灰岩和泥晶砂屑灰岩为特色。高水位体系域以沧波门段的蠕虫状灰岩亚段的蠕虫灰岩和白云岩为代表。南京—镇江以东地区以广泛发育亮晶鲕粒灰岩和细晶白云岩为特征。白云岩的出现显示出潮上咸化环境的形成,也反映出海平面开始下降。至此台地碳酸盐体系过渡为碳酸盐潮坪—咸化泻湖体系,结束了层序 2 的发育。层序 2 为 I 型台地碳酸盐层序。

层序 3 相当于周冲村组,底界位于周冲村组底部,以厚层、块状的膏溶角砾岩的出现为标志,与下伏为整合接触,局部存在侵蚀界面,与海平面下降引起的暴露有关。本层序由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成,是在与外海有局限沟通的闭塞—半闭塞的浅水潮坪—泻湖盆地内形成的。低水位体系域由底部厚层的膏溶角砾岩、微晶白云岩

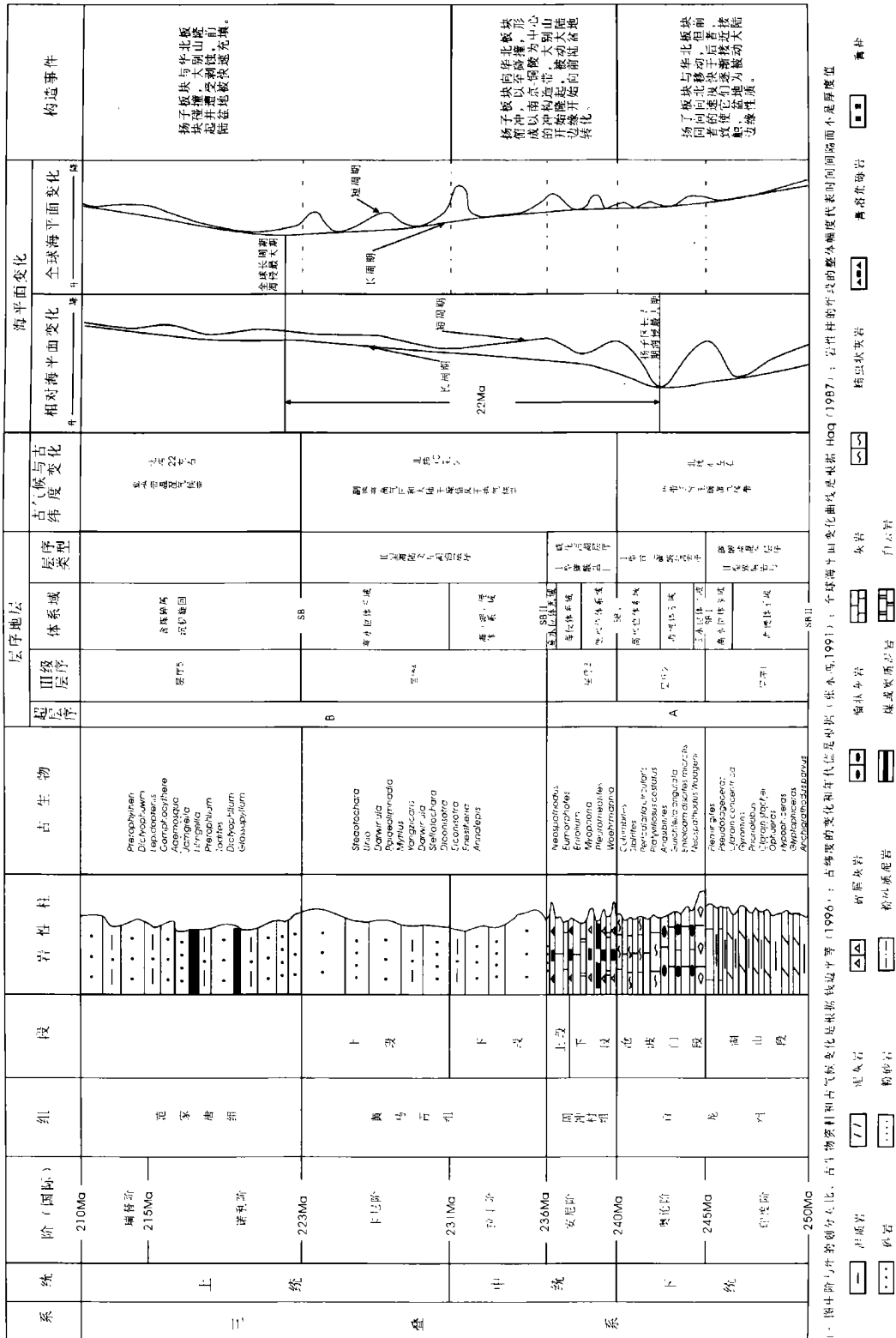


图 2 下扬子区三叠纪层序地层与层序控制因素

Fig. 2 Triassic sequence stratigraphy and sequence controls of Lower Yangtze area

和硬石膏层构成。这套岩性的出现反映出暴露、咸化和淡水淋滤的特征, 此时海平面可能低于这个泻湖盆地的局部水位。海侵体系域由下段厚层膏溶角

砾岩和中一厚层微晶灰岩互层构成, 是在动荡的海侵过程中形成的。当形成稳定薄层泥晶灰岩时, 海侵达到最大规模。高水位体系域由上段泥晶灰岩、

泥晶白云岩、膏溶角砾岩和粉砂质泥岩构成。此阶段特点是：(1) 暴露构造明显，如鸡丝铁笼构造和石膏假晶；(2) 白云质的含量高；(3) 有陆缘碎屑沉积物的进入。至此碳酸盐潮坪—泻湖沉积体系转化为陆缘近海的湖泊沉积体系，结束了层序 3 的发育。层序 3 为 I 型碳酸盐潮坪—泻湖层序。

层序 4 相当于黄马青组，底界位于黄马青组的底部，以灰—深灰色长石石英砂岩的出现为标志，与下伏为整合接触，但岩性发生明显变化。本层序由湖(海)侵体系域和高水位体系域构成。湖(海)侵体系域为一套滨—浅湖相的深色细粒石英长石砂岩与钙质粉砂岩，粉砂质泥岩韵律互层。含有海相化石的粉砂质泥岩代表最大的海泛期(徐雪球, 1999)。高水位体系域为另一套滨浅湖沉积，其颜色明显不同，为紫色—紫红色。这显示了受海平面变化的直接影响的结束。至此海陆交互的陆缘近海湖泊逐渐过渡为陆相湖泊—沼泽体系，结束了层序 4 的发育。层序 4 为 II 型海陆过渡湖泊层序。

层序 5 相当于范家塘组，底界位于范家塘组的底部。这是一套发育在陆相湖沼盆地的层序，难以用体系域的术语加以描述。总体上若干个含煤沉积旋回构成了湖泊—沼泽的沉积韵律。最大成煤期发育在层序演化中期，可与湖盆地最大湖泛期对应。由于成煤和碎屑物的填入，湖沼最终淤浅，致使层序 5 发育结束。层序 5 为陆相湖沼型层序。

层序 1、层序 2 和层序 3 构成了超层序 A，层序 4、层序 5 构成超层序 B(图 2)。

2 沉积环境改变、气候变迁和海平面变化

从层序 1 到层序 5，下扬子区的沉积环境发生了巨大的变化，即由海相斜坡环境过渡到陆架边缘碳酸盐台地环境，进而转变为碳酸盐潮坪—咸化泻湖环境，再转变为陆缘近海湖泊环境，最终过渡为陆相湖沼环境。相应的层序类型也发生变化。引人注目的变化是海相环境的消失。

伴随着环境的剧烈变化，下扬子区的气候也发生了变迁(图 2)，这可以从保存在地层中的岩石和化石记录中得到证明。钱迈平和郭佩霞(1996)研究反映了下扬子区三叠纪的气候变化，既从早三叠世经中三叠世至晚三叠世，下扬子区的气候由热带低压炎热潮湿气候带(与现代纬度 $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 相当)转变为副热带高压和大陆干燥信风控制下的干热气候

带(现代纬度 23.5°)，进一步转变为亚热带温湿气候带(现代纬度 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$) (图 1)。同一地区气候带发生如此剧烈的转变，可能与扬子板块大距离跨气候带漂移有关。

层序的发育不仅和沉积环境与沉积作用、相对海平面变化以及气候变化有关，而且受到全球海平面变化的控制或影响。根据全球海平面变化曲线(Haq *et al.*, 1987)，在三叠纪期间存在一个长周期的全球海平面升降(图 2)。其时限为 255~211 Ma，其中 255~250 Ma 属于晚二叠世，处于大规模的海平面下降阶段。三叠纪海侵始于 250 Ma，为印度期开始时期；最大海泛期是卡尼的中后期，225.5 Ma；瑞替期结束时海退达到最低点。在长周期的背景下还存在短周期的波动—II 级周期。总体上从印度期开始至印度期末(250~245 Ma)存在有 1 个 II 级周期；从印度期末经奥伦期至安尼早期(245~239 Ma)存在 3 个 II 级周期；从安尼早期至安尼晚期(239~237 Ma)存在 1 个 II 级周期；从安尼后期至拉丁末期(237~232 Ma)存在 1 个 III 级周期；从拉丁末期至卡尼末期(232~224 Ma)存在 2 个 II 级周期；从卡尼末期至诺利末期(224~215 Ma)存在 1 个 II 级周期；从诺利末期至瑞替期(215~211 Ma)结束存在 1 个 II 级周期。比较而言拉丁期、卡尼期和诺利期是三叠纪海侵规模最大时期，以卡尼期为中心；而印度期、奥伦期和瑞替期海平面上升幅度较小。另一个特点是奥伦期海平面波动频繁，有三个周期，而且时限很短。

下扬子区三叠纪层序发育所反映出的海平面变化是与全球海平面变化长周期是对应的，但存在明显的差异。其一是下扬子区的海平面 II 级周期不能完全与全球标准对应，即奥伦期是 1 对 3，拉丁期—卡尼期是 1 对 3，诺利期—瑞替期是 1 对 3，只有印度期是 1 对 1。这种对应现象虽然与精细的识别有关，如童金南和李红丽(1996)针对无锡高山地区将青龙组(相当于印度阶的 Griesbachian、Dienerian 和奥伦阶的 Smithian 亚阶)划分出 24 个副层序和 3 个层序，但更重要的是在海陆背景转变下层序类型发育的不同，也就是说全球海平面变化不是奥伦期以后层序发育的最重要控制因素。其二是在下扬子区长周期的海平面变化中，大规模的海退起始于奥伦中期之后，而全球的海退则在瑞利中期之后，相差约 22 Ma。这是否也与海陆背景转变有关呢？其三是自拉丁期之后，出现了海陆交互型和陆相型的层序，特别是诺利—瑞替期虽然有全球海侵发生，但层序发育已不受其直接影响了。这说明此时下扬子区已远离海洋背景了。

3 华北板块与扬子板块碰撞时间

从下扬子区三叠纪层序地层的发育情况可以得到如下事实:

(1)沉积环境发生重大改变,从海相碳酸盐环境转变为陆相湖沼环境。转换的界面为周冲村组和黄马青组的接触界面——层序4底部边界,发生在拉丁初期。

(2)气候背景发生重大变化,由湿热经干热转变为温湿气候。

(3)层序类型发生变化,由II型碎屑岩与碳酸盐混合层序、I型台地碳酸盐层序、I型碳酸盐潮坪—泻湖层序转变为II型海陆过渡湖泊层序和陆相湖沼型层序。在气候变迁的背景下,层序发育的主控因素有海平面变化转变为构造因素。

(4)自奥伦中期开始大规模海退,使得本区逐渐远离了海洋背景。

这些事实揭示了在中三叠世开始有重大构造事件的发生。这明显地涉及到扬子板块与华北板块的碰撞和古秦岭洋的闭合问题。对于扬子板块与华北板块的碰撞的时间历来存在争议,有认为是新元古代(张树业等, 1989), 有认为是早古生代(许志琴等, 1997), 还有认为是三叠纪(李曙光等, 1989; 徐树桐等, 1992; Ames *et al.*, 1993; Cong *et al.*, 1994)。根据由古地磁测定成果所编制的下扬子板块与华北板块古纬度轨迹图(以南京和石家庄分别为参考点)(张永鸿, 1991)显示了两板块在震旦纪—第四纪期间的纬度变化。从震旦纪至二叠纪两板块相距甚远, 尤其是震旦纪, 纬向相差 3000 km 以上, 足可以容纳古秦岭洋, 以后缓慢靠近。三叠纪开始快速靠近, 并在侏罗纪开始同步位移。三叠纪期间下扬子板块的纬度从北纬 4° 左右变化为北纬 20° 左右。古地磁的研究不仅解释了下扬子区三叠纪气候的巨大变迁, 而且显示了两板块碰撞—拼接和古秦岭洋闭合的时间在三叠纪, 而不是在此之前。根据产出在大别山区板块缝合带的榴辉岩及超镁铁岩的 Sm/Nd 等时线年龄 (230~240 Ma) 的研究(李曙光等, 1989), 以及苏鲁造山带五莲杂岩的研究(Zhou Jianbo *et al.*, 2003), 说明板块碰撞—拼接时间为中—晚三叠世。

4 讨论

下扬子区三叠纪的层序地层样式是华北板块与扬子板块碰撞的响应, 同时为探讨碰撞时间提供了

地层方面的证据。这不仅验证了根据古地磁极移曲线和根据大别山—苏鲁造山带超高压变质带的形成时代研究得出的关于两板块碰撞时间的认识, 而且可以通过不同类型层序的发育以及层序发育的外在控制因素, 了解这一相互作用过程。

早三叠世下扬子盆地属于拉张背景的被动大陆边缘(李锦轶, 2001), 继承了晚二叠世的古地理格局。盆地总体上南浅北深, 海侵方向与二叠纪的自北向南入侵(陈世悦和刘焕杰, 1999)一样。伴随着海平面的升降变化, 形成了II型碎屑岩与碳酸盐混合层序。陆源碎屑物质来自南部的克拉通古陆, 层序发育在较缓的斜坡上, 深水在南京—巢湖地区。由于处于湿热气候条件, 碳酸盐快速生长, 使得斜坡环境演变为碳酸盐台地, 发育I型台地碳酸盐层序。虽然这个过程中扬子板块逐步接近华北板块, 但全球海平面变化依然控制层序的发育。至中三叠世, 扬子板块开始向华北板块俯冲。由于陆块的接近, 使得本区出现碳酸盐潮坪—咸化泻湖环境。这时盆地属于陆间残余海盆(李锦轶, 2001), 盆地性质由被动大陆边缘盆地转变为前陆盆地(涂荫玖等, 2001)。在这种构造背景下, 加之气候已转为干热, 形成了I型碳酸盐潮坪—泻湖层序, 此间陆源碎屑供给有所增加。由于华北板块与扬子板块的接近以至于碰撞, 在奥伦中后期就开始了大规模的长周期海退, 比全球海平面变化的长周期海退早 22 Ma。中三叠世晚期(拉丁期)至晚三叠世早期(卡尼期)II型海陆过渡湖泊层序是在两板块强烈碰撞的构造背景下发育的。由于在下扬子区形成的以洪镇—铜陵—南京—扬州—安丰一线为对冲轴的冲推覆体系(杨盛良, 1997)的中心地带地势较低, 因此这个II型海陆过渡湖泊层序在那里较为发育, 并与下伏为整合接触, 而不是角度不整合。虽然层序仍受海平面波动的影响, 但构造的控制已成为主控因素。在构造的控制下, 陆源碎屑供给充分, 成为层序发育控制因素之一。富含长石碎屑和变质岩碎屑的沉积物, 表明来自大别山—苏鲁造山带。在本层序的高水位期间, 海水已退出了本区, 加之气候的干热条件, 形成的沉积地层为紫红色, 与下伏的深色明显不同。海平面变化已不再是层序的控制因素, 构造、湖平面变化、气候和物源供给速率成为控制因素, 其中构造因素是第一位的。进一步拼接扬子板块与华北板块连接在一起。II型海陆过渡湖泊层序转化为陆相湖沼型层序, 此时气候温湿。虽然全球海平面仍有上升, 但已对层序不再有直接的影响了。

5 结 论

虽然从其它角度的研究,如大别山—苏鲁造山带的超高压变质岩研究、扬子板块和华北板块的古地磁极移测定以及与沉积有关的物源分析和环境演化研究,都可以得到有关华北板块与扬子板块碰撞和碰撞时间的认识,但从层序地层得到的证据是不可少的。因为层序的发育特征比沉积物本身更能反映其背后的控制因素及其变化,这样就把全球海平面变化、区域构造活动、相对海(湖)平面变化、气候变迁和沉积物供给速率和来源等层序控制因素与层序类型结合在一起。下扬子区三叠纪的层序地层类型的转化与长周期海退的提前是扬子板块与华北板块俯冲、碰撞和拼接时期,伴随着两板块的相互作用,古秦岭洋闭合,大别山—苏鲁造山带隆升,而下扬子盆地三叠纪的层序地层中保存了相关作用的沉积记录。

参考文献:

- 陈世悦,刘焕杰. 1999. 华北石炭—二叠纪层序地层格架及其特征. *沉积学报*, 17(1): 63—70.
- 李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境演变. *地质学报*, 75(1): 25—34.
- 李曙光, Hart S, 郑双根, 郭安林, 刘德良, 张国伟. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素证据. *中国科学(D)*, (3): 312—319.
- 孟祥化, 葛铭. 1993. 内源盆地沉积研究. 北京: 石油工业出版社.
- 钱迈平, 郭佩霞. 1995. 下扬子区三叠系海洋风暴沉积与古地理演变. *江苏地质*, 19(2): 77—82.
- 钱迈平, 郭佩霞. 1996. 下扬子区三叠纪古生物和古地理变迁的主要原因. *江苏地质*, 20(3): 156—165.
- 童金南, 李红丽. 1996. 江苏无锡嵩山下三叠统层序地层研究. *地层学杂志*, 20(4): 257—261.
- 涂荫玖, 刘湘培, 汪祥云, 吴明安. 2001. 下扬子北缘滁州—巢湖前陆褶皱冲断带研究. *大地构造与成矿学*, 25(1): 9—26.
- 徐树桐, 江来利, 刘贻灿, 张勇. 1992. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. *地质学报*, 66(1): 1—14.
- 徐雪球. 1999. 苏南地区三叠纪地层格架. *江苏地质*, 23(3): 141—147.
- 徐学田. 1997. 江苏省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 许志琴, 张建新, 徐惠芬等. 1997. 中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学. 北京: 地质出版社.

- 杨盛良. 1997. 下扬子区中生界构造特征及油气远景. *石油勘探与开发*, 24(3): 10—14.
- 张树业, 胡克, 刘晓春, 乔兰勇. 1989. 中国中部元古代蓝片岩—白片岩—榴辉岩带——古陆板块裂撞带的三位一体特征. *长春地质学院学报(鄂皖蓝片岩带地质专辑)*, 152—157.
- 张永鸿. 1991. 下扬子区构造演化的黄桥转换事件与中、古生界油气勘探方向. *石油与天然气地质*, 12(4): 439—447.

References:

- Ames L, Tilton G R and Zhou G Z. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze craton: U/Pb zircon dating of coesite bearing eclogites. *Geology*, 21: 339—342.
- Cheng Shiyue and Liu Huanjie. 1999. Sequence stratigraphic framework and its characteristics of the Carboniferous-Pennian in North China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 63—70 (in Chinese with English abstract).
- Cong B, Wang Q, Zhai M et al. 1994. Ultrahigh pressure metamorphic rocks in Dabie-Sulu region, China: their formation and exhumation. *The Island Arc*, 3: 135—150.
- Gupta S and Cowie P. 2000. Processes and controls in the stratigraphic development of extensional basins. *Basin Research*, 20(3/4): 185—194.
- Haq B U, Hardenbol Jan and Vail P R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1136—1167.
- Li Jinyi. 2001. Pattern and time of collision between the Sino-Korean and Yangtze blocks: Evolution of the Sinian-Jurassic sedimentary settings in the middle-Lower reaches of the Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 25—34 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuguang, Hart S, Zheng Shuanggeng, Guo Anling, Liu Deliang and Zhang Guowei. 1989. Sm-Nd isotopic evidences of collision between North China plate and South China plate (in Chinese). *Science in China(D)*, (3): 312—319.
- Meng Xianghua and Ge Ming. 1993. Study of intrabasin sediments. Beijing: Petroleum Industry Publishing House (in Chinese).
- Qian Maiping and Guo Peixia. 1995. Paleogeographic evolution and marine storm deposits presented in Triassic strata in the lower Yangtze Valley. *Geology of Jiangsu Province*, 19(2): 77—82 (in Chinese with English abstract).
- Qian Maiping and Guo Peixia. 1996. The evolution of paleontologic and paleogeographic facies in Triassic period in the lower Yangtze valley and its essential cause. *Geology of Jiangsu Province*, 20(3): 156—165 (in Chinese with English abstract).
- Tong Jinnan and Li Hongli. 1996. Lower Triassic sequence stratigraphy of Songshan, Wuxi, Jiangsu. *Journal of Stratigraphy*,

- 20(4): 257—261 (in Chinese with English abstract).
- Tu Yinjiu, Liu Xiangpei, Wang Xiangyun and Wu Mingan. 2001. Study on the Chuzhou-Chaohu foreland fold-thrust zone on the northern margin of the Lower Yangtze Landmass. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(1): 9—26.
- Xu Shutong, Jiang Laili, Liu Yican and Zhang Yong. 1991. Tectonic framework and evolution of the Dabie Mountains in Anhui, eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 66(1): 1—14 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xueqiu. 1999. The stratigraphic framework of Triassic period in south Jiangsu. *Geology of Jiangsu Province*, 23(3): 141—147 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xuetian. 1997. Lithostratigraphy of Jiangsu Province. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Zhang Jianxian, Xu Huifen *et al.* 1997. Ductile Shear Zones in the Main Continental Mountain Chains and Their Dynamics. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Yang Shergliang. 1997. Structural features and oil and gas potential of the Mesozoic in the Lower Yangtze region in China. *Petroleum Exploration and Development*, 24(3): 10—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shuyue, Hu Ke, Liu Xiaochun and Qiao Lanyong. 1989. The characteristics of Proterozoic blueschist - whiteschist - eclogite in central China; A trinity of ancient intercontinental collapse collision zone. *Journal of Changchun University of Earth Science*, Sup: 152—157 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yonghong. 1991. Huangqiao transform event in tectonic evolution of lower Yangtze region and the Meso-Paleozoic hydrocarbon exploration target. *Oil & Gas Geology*, 12(4): 439—448 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianbo, Zheng Yongfei and Wu Yuanbao. 2003. Zircon U-Pb ages for Wulian granites in northwest Sulu and their tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 48(4): 379—384.

RESPONSE OF TRIASSIC SEQUENCE STRATIGRAPHY OF LOWER YANGTZE TO COLLISION BETWEEN YANGTZE PLATE AND NORTH CHINA PLATE

CHENG Rihui, WANG Pujun, LIU Wanzhu, TANG Huafeng, BAI Yunfeng,
KONG Qingying and SONG Weihai

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, JL 130061, China)

Abstract: The characteristics of sequences developed during Triassic in Lower Yangtze area reflect a great change in environment and climate. The change of environment was a transition from marine to continental via a marine-continental alternating environment. The change of climate was a transition from tropic (torrid) to warm and wet through a subtropical dry climate. The type variations of sequences corresponding to the changes of environment and climate were from type II sequence of mixed clastic and carbonate rocks, type I sequence of carbonate platform and type I carbonate tidal flat - salt lagoon to type II sequence of lacustrine within marine layers and sequence of lacustrine-swamp. The development, distribution and preservation of those types of sequences reveal the tectonic controls and their changes in the background. Collision between Yangtze Plate and North China Plate was a great geological event in geological history, but the timing of the collision is still disputed. However, the characteristics of Triassic sequence stratigraphy respond to this collision. The collision started at the beginning of middle Triassic and the great regression in the Lower Yangtze area started about 22Ma earlier than that in the world. The tectonic conditions before and during the collision control the sequence development and the type changes.

Keywords: Yangtze Plate; North China Plate; Lower Yangtze area; Triassic; sequence; response