

中下扬子区二叠系露头层序地层研究

张克信, 刘金华, 何卫红, 吴顺宝

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 按新近国际年代地层划分方案(ICS, 2000), 下扬子区二叠纪地层自下向上分为 3 统、9 阶和相对应的华南传统 6 阶划分。二叠系从阿瑟尔阶至长兴阶(44 Ma)共划分出 14 个三级层序, 每个三级层序平均时限约为 3.14 Ma, 其中“紫松阶”(相当阿瑟尔+2/3 萨克马尔阶)1 个(船山组中上部)、“隆林阶”(相当 1/3 萨克马尔阶+阿丁斯克阶)2 个(分别对应船山组上部和梁山组或镇江组)、“栖霞阶”(相当库班甘德阶+1/3 罗德阶)3 个(栖霞组)、“茅口阶”(相当于 2/3 罗德阶+沃德阶+卡皮丹阶)4 个(孤峰组、茅口组、堰桥组、银屏组和武穴组)、吴家坪阶 2 个(龙潭组或吴家坪组)、长兴阶 2 个(长兴组或大隆组); 共归并为 4 个层序组(sequence set)。

关键词: 体系域; 三级层序; 海平面变化; 二叠系; 中下扬子区。

中图分类号: P53 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)04-0357-09

作者简介: 张克信(1954-), 男, 教授, 1982 年毕业于北京大学地质系, 现主要从事微体古生物学、生态地层、事件地层、层序地层、造山带非史密斯地层和造山带区域地质学教学与研究

工作。

中下扬子区经历加里东运动后, 海水大面积退出, 整体抬升为陆, 经历了长时间风化剥蚀, 直到晚泥盆世才接受五通组沉积, 但主要是陆相, 地形差异大, 都为碎屑物沉积。从早石炭世开始出现碳酸盐岩与碎屑岩交替的沉积环境。研究区进入晚石炭世, 陆源区已基本夷平, 陆源碎屑物供应贫乏, 海盆基底高差不大, 因此海水深度变化小, 为浅海碳酸盐岩台地沉积环境, 沉积了广泛分布的碳酸盐岩相的黄龙组和船山组下部。中下扬子区石炭系与二叠系的界线在岩性变化上并不明显, 本文采用最新国际方案(ICS, 2000)^[1], 以牙形石 *Streptognathodus nodularis* 或 *Sphaeroschwagerina vulgaris* 的出现作为二叠系开始, 其二叠系底界大致在船山组中部。二叠系顶界以牙形石 *Clarkina meishaensis*—*Hindeodus latidentatus* 带之顶为其顶界, 即以牙形石 *Hindeodus parrus* 出现为三叠系底界^[2,3]。二叠纪初海域周围地形平缓, 海水与广海沟通良好, 海水较浅, 气候温暖, 底栖生物发育, 这就是接受二叠纪沉积时的地质环境背景, 亦即二叠纪层序地层格架的基

底⁴。图 1 为研究区及剖面位置。

1 层序划分

按新近国际年代地层划分方案(ICS, 2000)^[1], 下扬子区二叠纪地层自下向上分为 3 统、9 阶和相对应的华南传统 6 阶划分。二叠系从阿瑟尔阶至长兴阶(44 Ma)共划分出 14 个三级层序, 每个三级层序平均时限约为 3.14 Ma, 其中“紫松阶”(相当阿瑟尔+2/3 萨克马尔阶)1 个(船山组中上部)、“隆林阶”(相当 1/3 萨克马尔阶+阿丁斯克阶)2 个(分别对应船山组上部和梁山组或镇江组)、“栖霞阶”(相当库班甘德阶+1/3 罗德阶)3 个(栖霞组)、“茅口阶”(相当于 2/3 罗德阶+沃德阶+卡皮丹阶)4 个(孤峰组、茅口组、堰桥组、银屏组和武穴组)、吴家坪阶 2 个(龙潭组或吴家坪组)、长兴阶 2 个(长兴组或大隆组), 共归并为 4 个层序组(sequence set)。

层序组 1(sequence set 1)几乎跨越整个早二叠世(紫松期—隆林期), 其时限为 295~283 Ma, 延限约 12 Ma。该层序组现可识别出 2 个三级层序(sequence), 自下而上命名为 Psq1 和 Psq2(图 2, 3)。每个三级层序平均时限为 6 Ma。层序组 2(sequence

收稿日期: 2001-11-19

基金项目: 中国地质调查局“全球二叠系—三叠系界线层型剖面分布区区域地质调查”(0199209046)。

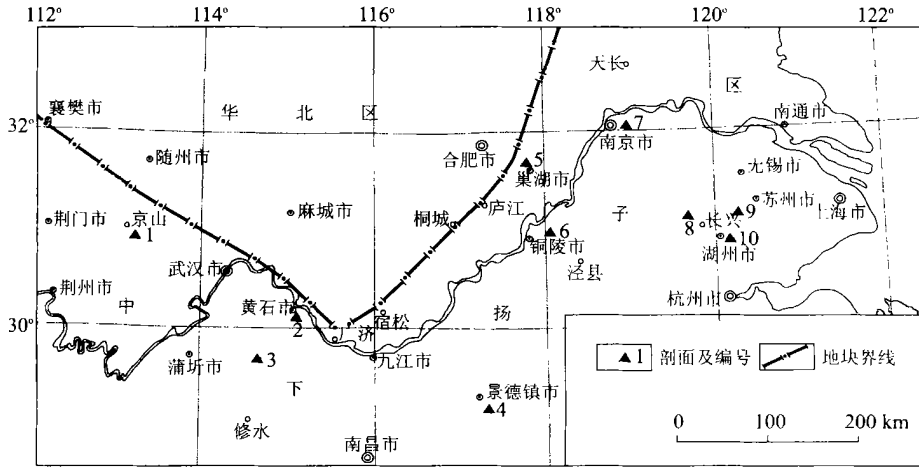


图 1 研究区及剖面位置

Fig. 1 Location of studied area and sections


1. 湖北京山桥下; 2. 湖北黄石冶钢二门; 3. 湖北大冶西畈李; 4. 江西景德镇涌山; 5. 安徽巢湖平顶山; 6. 安徽铜陵钟鸣; 7. 江苏南京排山;
8. 浙江长兴煤山; 9. 江苏苏州西山; 10. 浙江湖州黄芝山

set 2) 时限为 283 ~ 272 Ma, 延限约 11 Ma, 跨越隆林期晚期和整个栖霞期, 自下而上可划分出 4 个三级层序(Psq3—Psq6), 平均每个三级层序时限约为 3.67 Ma. 层序组 3(sequence set 3) 相当于整个中二叠统茅口阶, 时限约为 15 Ma, 自下而上划分为 4 个三级层序(Psq7—Psq10), 每个三级层序平均时限为 3.75 Ma. 层序组 4 (sequence set 4) 时限为 257 ~ 251 Ma, 延限约 6 Ma. 含整个晚二叠世(吴家坪期、长兴期), 自下而上可划分出 4 个三级层序(Psq11—Psq14), 平均每个三级层序时限约为 1.5 Ma.


2 三级层序特征

2.1 层序 1(Psq1)

层序 1 位于船山组灰岩中部, 大致相当于紫松期早期, 时限约为 6 Ma, 当时整个扬子区处于海平面较低期, 下扬子区为极浅水碳酸盐台地, 台缘前斜坡及深水盆地相堆积物未见, 故低水位体系域(LST)在野外剖面上缺失(图 2), 仅由海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)构成, 该层序为 I 型层序. Psq1 的顶底界面均为暴露不整合成因的 I 型层序界面, 以古岩溶面和溶蚀角砾及古壤化的褐铁钙质泥发育为标志, 如安徽巢湖平顶山船山组和第 7 层、第 9 层(图 2)的顶部均含古岩溶溶蚀角砾并发生白云岩化, 顶面凹凸不平, 凹处充填着较多的褐红色褐铁矿钙质泥岩和生物介壳屑及溶蚀角砾. 因

Psq1 沉积后有较长期暴露不整合的存在, 其 HST 上部大部分被剥蚀, 仅残留 HST 下部和 TST, 使 Psq1 地层变得很薄, 一般厚仅数 m. 浙江长兴、南京、安徽铜陵和巢湖等地的 Psq1 主要由一套浅灰色、灰白色生物屑泥粒灰岩、颗粒灰岩和藻团粒颗粒灰岩构成, 生物主要为 , 有孔虫、海百合、腕足类、钙藻等, 多数被磨蚀呈次圆状, 反复淘洗后被亮晶胶结, 反映海水极浅、水动力较高的高能浅滩环境, 在此种环境下往往冲蚀剥蚀作用占主导地位, 故在约 6 Ma 的地质历程中仅堆积了厚数 m 的地层, 亦可视为一种“凝缩”产物. 另一方面, 在 6 Ma 中沉积环境基本保持不变, 说明当时长时期内海盆地壳相当稳定.

2.2 层序 2(Psq2)

层序 2 位于船山组灰岩上部, 大致对应于紫松期晚期—隆林期中期, 时限约 6 Ma. 产阿丁斯克阶的牙形石 *Streptognathus whitei* 和萨克马尔—阿丁斯克阶的  分子 *Parafusulina* sp.. 该层序在研究区一般厚仅数 m, 仅见 TST 和 HST, 为 I 型层序, 其顶部遭受剥蚀, 估计长达 2 Ma 左右. 在浙江长兴、安徽铜陵、巢湖及湖北大冶等地, 均为一套碳酸盐台地高能浅滩相产物, 为生屑颗粒灰岩或藻团粒颗粒灰岩, 亮晶胶结, 顶部常见砾屑亮晶灰岩. 在南京东郊孔山一带, 该层序沉积时的水深明显要大于上述各地, 为一套较深水低能环境下的深灰色、黑灰色薄—中层状生屑泥晶灰岩—泥粒灰岩夹极薄层状泥

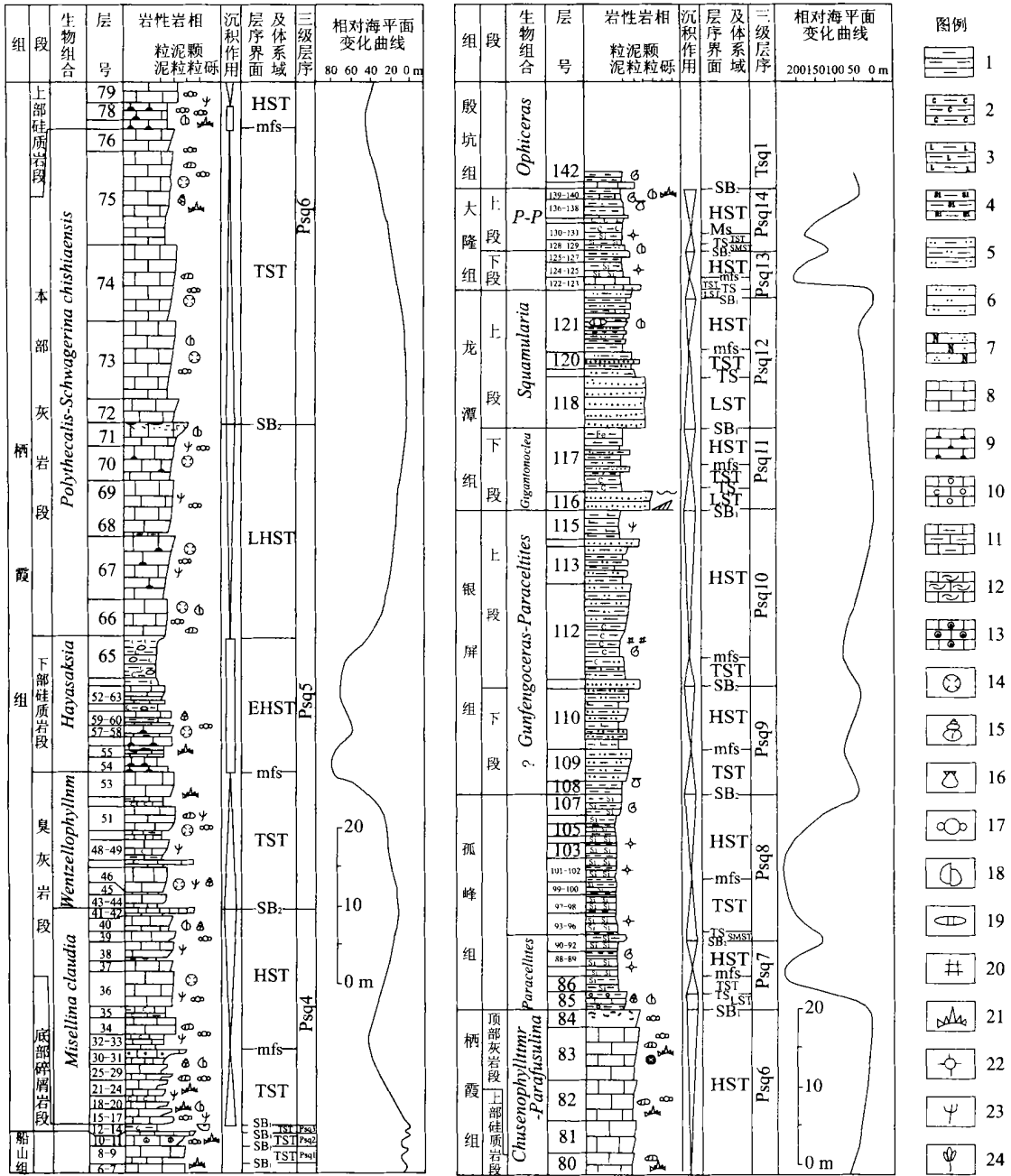


图 2 安徽巢湖平顶山二叠系层序地层柱状图

Fig. 2 Column of sequence stratigraphy of Permian at Pingdingshan, Chaohu in Anhui Province

- 1. 泥岩; 2. 炭质泥岩; 3. 钙质泥岩; 4. 硅质泥岩; 5. 泥质粉砂岩; 6. 粉砂岩; 7. 长石石英砂岩; 8. 灰岩; 9. 含燧石结核灰岩; 10. 砾状灰岩;
- 11. 泥质灰岩; 12. 介壳灰岩; 13. 鲕状灰岩; 14. 珊瑚; 15. 腹足动物; 16. 双壳动物; 17. 有孔虫; 18. 腕足动物; 19. 苔藓动物; 20. 苔藓动物; 21. 牙形石; 22. 放射虫; 23. 钙藻; 24. 古植物

灰岩.

2.3 层序 3 (Psq3)

层序 3 对应于梁山组或镇江组, 梁山组在许多地区仅 1~3 m 厚, 被划入栖霞组“底部碎屑岩段”. Psq3 大致相当于隆林阶上部, 时限约为 3~4 Ma, 在

南京孔山产 *Schwagerina chihsiaensis* 和丰富的介形虫 *Bairdia*. 梁山组或其对应地层顶、底面均为平行不整合面, 均是 I 型层序界面, 由升降侵蚀造成. Psq3 之底界即为梁山组的顶界. 梁山组顶部经长期隆起而充分夷平, 地势变得相当平坦, 在安徽铜陵半

山李、巢湖茨苔山、南京东郊孔山和浙江长兴新槐桥下等地的船山组顶部,都可见一层厚约 10~30 cm 的灰褐色瘤状含砾褐铁泥灰岩,其顶面舒缓状起伏,凹处充填褐红色泥质物和经充分磨蚀的生物壳屑及砾屑,是长期隆升暴露造成的古风化壳层,其上的梁山组沉积物以滨海沼泽相为主,广泛分布在经数百万年充分夷平的喀斯特化的基面上,成为中二叠世栖霞期广泛海侵背景下生物建隆碳酸盐发育的基座或垫板。梁山组本身延限相当长,达 3~4 Ma, P_{sq3} 主要为套滨海—滨海沼泽相碎屑、含煤碎屑岩沉积,主要岩性为灰、灰黄、灰黑色页岩、碳质页岩夹粉砂岩及灰岩透镜体,局部地区含煤,煤层厚 0.1~2 m,本层序最厚处在湖北蒲圻—江西瑞昌一线,可达 10~35 m,在研究区的安徽、江苏和浙北等地,一般厚 1~3 m。在上扬子区, P_{sq3} 以陆相和海陆过渡相的碎屑岩和粘土岩为主,其厚度仅数 m 至 20 m,沉积物堆积的时间远小于受侵蚀和剥蚀的时间,以泥炭沼泽相为主,间被海水改造,因而很难划分出不同的体系域,事实上它是多个沉积体系域的复合体。

2.4 层序 4(P_{sq4})

层序 4 位于栖霞组下部臭灰岩段(图 2, 3),时限约为 2 Ma,产空谷期 *Misellina claudia*, 在研究区 P_{sq4} 仅由下部的 TST 和上部的 HST 构成,底界为 SB₁ 面,是 II 型层序。P_{sq4} 为一套弱还原条件下的浅海台地碳酸盐岩沉积,主要为深灰、灰黑色中、中薄至厚层碳质、沥青质生屑灰岩夹灰色中—厚层状生屑灰岩,局部地区夹白云质灰岩和结晶灰岩。沉积厚度在 12~40 m 之间,富含珊瑚、腕足类、钙藻,主要分子有 *Misellina claudia*, *Schubertella simplex*, *Schwagerina tscheryschevi*; 珊瑚: *Wentzelophyllum* sp., *Cystomiche-linia* sp., *Allotropiophyllum* sp.; 腕足类: *Chenetes spinulistriatus*, *Dictyoclostoidea kiangsiensis*, *Marginifera obscura*, *Orthotichia ohekangensis*; 钙藻: 二叠钙藻、裸海松、假蠕孔藻等; 还可见有孔虫、介形类、牙形石、苔藓虫、腹足类、三叶虫等化石。P_{sq4} 内副层序易于识别,特征明显,如在安徽巢湖平顶山剖面上 P_{sq4} 的 TST 内,可识别出 8 个副层序(图 2),每一副层序都以深灰色、黑灰色薄—中层状碳质生屑泥晶灰岩或碳质泥岩开始,向上变为灰色、浅灰色厚层状不含碳质的生屑泥粒灰岩,均为向上变浅序列,但 8 个副层序总体上向上构成一个变深的退积型副层序组。P_{sq4} 的 HST 由 7 个各自向上变浅的副层序构成,总体上为一进积型副层序组,每个副层序的下部

和上部微相特征不同,下部为具完整有孔虫或钙藻节片的粒泥或泥粒灰岩,常显水平纹理,为低能环境下的藻泥丘相产物;上部为生物碎屑灰岩,主要为介壳碎片、海百合茎和钙藻屑等,生物屑较破碎,不显层理,生物扰动构造发育,为较高能环境下的生物滩相产物。在上扬子区的栖霞组 P_{sq4} 上部(HST)亦发育珊瑚、腕足类生物滩。

2.5 层序 5(P_{sq5})

层序 5 位于栖霞组的臭灰岩段上部+下硅质层+本部灰岩段下部,时限约为 3.5 Ma,由 TST 和 HST 构成,是 II 型层序。底界是 II 型层序界面。P_{sq5} 的底界面是一个以海侵上超为主而构筑的层序界面,在盆地持续处于沉降阶段,盆地的沉降与海平面快速上升藕合,导致可容空间增大,形成上超截切的海侵面。P_{sq4} 与 P_{sq5} 间的上超面是在扬子陆块海平面主体上升期,碳酸盐生物建隆作用不断扩展的背景下发育的。P_{sq4} 顶部海生藻泥丘建造被 P_{sq5} 下部更深水相的富有孔虫屑、骨针屑的泥粒灰岩建造代替,向上进一步演变为富骨针或含远洋浮游生物放射虫的硅质岩层(即栖霞组“下硅质层”)(图 2)。TST 由“臭灰岩段”上部地层构成,约由 4 个副层序组成向上变深的退积型副层序组,每一副层序为进积型序列,下部为深灰色薄—中层状含藻屑及完整有孔虫个体的碳质泥晶灰岩夹碳质泥岩,上部为灰色、深灰色厚—巨厚层状生屑泥粒灰岩。HST 的下部为“下硅质层段”,是最大海侵层,可视为凝缩段产物。本段在区域上层位稳定,但岩性、厚度变化较大,如浙江长兴煤山为黑色薄层硅质岩,厚 7 m; 南京孔山为灰黑色薄层硅质岩、硅质泥岩、碳质泥岩夹泥灰岩,厚 15 m; 安徽和县香泉为黑色硅质岩,厚仅 1.2 m; 含山大冯村为灰黑色硅质页岩夹含燧石结核灰岩,厚 11.5 m; 含山花山、柱山变为燧石结核灰岩,以致与“本部燧石结核灰岩”难以区分; 巢县北部为黑色硅质岩夹深灰色含燧石结核灰岩及生物屑粉砂质泥岩,厚 4.8~20.7 m; 巢县南部、无为一带为深灰、灰黑色燧石结核灰岩夹硅质页岩、碳质页岩、钙质页岩、泥灰岩等,厚 12~16 m; 安庆、怀宁及纵阳花山一带为深灰、灰黑、蓝灰色硅质岩夹灰岩透镜体,厚 3~5 m; 芜湖、铜陵一带为灰黑色薄层硅质岩夹灰岩透镜体及薄层状泥灰岩,厚 12~28 m。宿松地区以燧石条带灰岩形式出现,厚约 10 m。本段大化石较少,含较丰富的海绵骨针和少量放射虫,较深水相有孔虫 *Glomospira-Nodosaria* 组合及介形

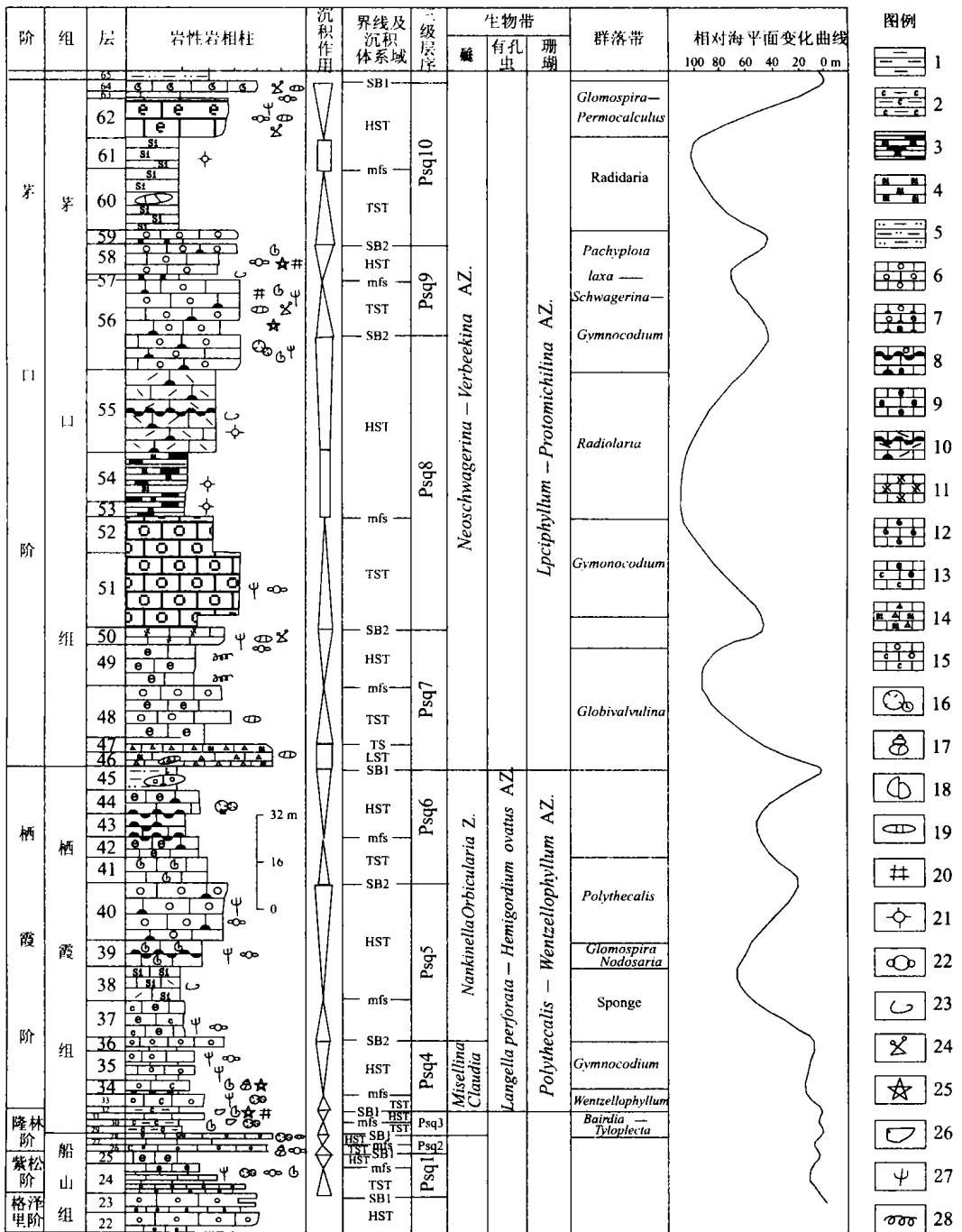


图 3 湖北大冶西岷季紫松阶—茅口阶层序地层柱状图

Fig. 3 Column of sequence stratigraphy of Zisongian-Maokouan at Xifanli, Daye, Hubei Province

1. 泥岩; 2. 炭质泥岩; 3. 炭质硅质页岩; 4. 硅质岩; 5. 泥质粉砂岩; 6. 砾状灰岩; 7. 含燧石结核砾状生物碎屑灰岩; 8. 燧石条带砾状生物碎屑灰岩; 9. 生物碎屑灰岩; 10. 燧石条带骨针灰岩; 11. 藻灰岩; 12. 生物灰岩; 13. 炭质生物碎屑灰岩; 14. 硅质角砾灰岩; 15. 炭质砾状灰岩; 16. 珊瑚; 17. 腹足动物; 18. 双壳动物; 19. 䃇. 20. 苔藓动物; 21. 放射虫; 22. 有孔虫; 23. 海绵骨针; 24. 海绵动物; 25. 棘皮动物; 26. 介形虫; 27. 钙藻 28. 遗迹化石

类 *Bairdia* spp. 等. HST 的上部由“本部灰岩段”下部构成, 为向上变浅序列, 为温暖条件下的浅海台地含硅质碳酸盐沉积, 区域上岩性较稳定, 一般为深灰、灰色厚层状含燧石团块生屑泥粒、粒泥灰岩, 富产化石, 主要有 *Nankinella orbicularia*, *Parafusulina undulata*, *Schwagerina chihsiaensis*; 珊瑚:

Waagenophyllum spp., *Polythecalis* sp., *Allotropio-phyllum* sp., *Hayasakaia* sp. 等。

2.6 层序 6 (Psq6)

层序 6 由栖霞组“本部灰岩段”上部+“上硅质层段”+“顶部灰岩段”构成,时限约为 2.5 Ma. 以最大海侵层“上硅质层段”为界,将其分为 TST(本部灰岩段上部)和 HST(上硅质层段+顶部灰岩段)两个沉积体系域,其底界为 II 型层序界面,II 型层序。栖霞组灰岩顶面(Psq6 与 Psq7 界面)是暴露过程中形成的碳酸盐海退侵蚀面,其上的孤峰组或茅口组灰岩的底部往往具厚数十 cm 的粘土化堆积物,富磷和铁、锰质(图 2, 3)。在安徽铜陵和巢湖地区的 TST 中均能识别出 5 个副层序,每个副层序为进积型,向上硅质含量减少,颜色变浅,生屑含量增高,且生屑个体增大,5 个副层序构成一退积型副层序组。HST 的下部主要由燧石条带、燧石团块生屑粒泥灰岩夹灰黑色薄层硅质岩、硅质泥岩构成。在南京和巢湖一带,主要由燧石条带及团块灰岩构成,在铜陵地区,以硅质层为主,厚 4~30 m 不等。HST 的上部由 2~4 个副层序构成一个向上变浅的进积型副层序组,由于顶部地层经较长期暴露被剥蚀,各地副层序数量不一,且厚度差别较大,如安徽铜陵、芜湖、巢县一带厚 14~50 m,宿松一带厚 80 m,而和县、含山一带厚 0~4 m。HST 上部一般为深灰、灰、浅灰色巨厚层生屑泥粒、粒泥灰岩、含燧石团块灰岩,近顶部常为一层白云质团块、泥质团块的眼球状或结核状灰岩。HST 的上部产丰富的生物化石,有 *Parafusulina multiseptata*, *Schwagerina chihsiensis*, *Verbeekina heimi*, *Chenella kueichihensis*; 珊瑚: *Protomichelina sinensis*, *Sinopora dendroides*, *Polithecalis* sp.; 腕足类: *Orthotichia chekiangensis*, *Neoplica-tifera sintanensis*, *Urushtenia chaqi*; 苔藓虫: *Hinganotrypa sichuanensis*, *Septopora diamorpha* 以及有孔虫、钙藻、牙形石、三叶虫、腹足类等。

2.7 层序 7 (Psq7)


层序 7 由孤峰组硅质岩的下部构成,其时限约为 4 Ma,大致相当于瓜达卢普统罗德阶。产菊石 *Altudoceras*, *Paracelites*; 牙形石 *Mesogondolella asserata*, *M. serrata* 和放射虫 *Pseudoalibaillella szalprata* 等罗德期分子。以安徽巢湖平顶山(图 2)、南京孔山等剖面为例,下部 LST 是孤峰组的“含磷含锰段”,主要岩性为深灰、灰褐色薄层硅质层、硅质页岩夹紫灰、灰黄、棕黑色页岩、钙质页岩、碳质页岩、

含锰页岩及粉砂质页岩,局部夹灰岩透镜体。巢县、安庆、怀宁、繁昌、南陵、南京、镇江等地的 Psq7 中 LST 底部含磷结核,贵池、宣城等地见锰土层。Psq7 中部的 TST 和上部的 HST 主要为一套黑色薄层状放射虫硅质岩与极薄层硅质泥岩互层,整体上为一套 CS 产物,两者界线不易划分。Psq7 与其上的 Psq8 以一层锰质粉砂岩(如巢湖平顶山)为界。

2.8 层序 8 (Psq8)

层序 8 与层序 7 一样主要由硅质岩相组成,所不同的是,铜陵钟鸣龙门在 Psq8 发育期,由前期硅质岩相(Psq7)转化为碳酸盐岩台地藻泥丘相。Psq8 在深水盆地硅质岩相区,由孤峰组的上部岩层构成;在浅水碳酸盐台地区,由茅口组的中下部灰岩构成,时限约为 4 Ma。Psq8 自下而上由 SMST, TST 和 HST 构成,为 II 型层序,SMST 仅在深水盆地硅质岩相区发育,在碳酸盐台地区缺失。Psq8 含沃德期常见分子如放射虫 *Phaenicosphaera Mammilla*, *Neoschwagerina* sp. 等。Psq8 在不同相区的代表性剖面上的岩性、岩相及充填序列详见(图 2, 3)。

2.9 层序 9 (Psq9)

层序 9 为 II 型层序,时限约 4 Ma. 分布于两类岩相区内: (1) 浅海碳酸盐台地相区,以安徽铜陵钟鸣剖面为代表,均由下部的 TST 和上部的 HST 构成。Psq9 在钟鸣为灰色巨厚层状“叶状藻”障积灰岩夹灰色厚层状生物屑颗粒灰岩,下部以藻泥丘相为主,上部以生物滩相为主。“叶状藻”宽 2~5 mm,长数 cm 至数十 cm,呈板条状,密集分布,其纵切面显示髓部和皮层等的显微构造,初步鉴定认为是绿藻门粗枝藻类。(2) 滨浅海碎屑岩相区,在宁镇一带由堰桥组下部地层构成,在安徽铜陵、巢县等地由银屏组下部地层构成。堰桥组或银屏组是指位于孤峰组硅质岩之上,龙潭组底部长石石英砂岩之下的一套滨浅海碎屑岩沉积,曾被作为龙潭组下部“不含煤段”处理,亦曾有人划入孤峰组,作为上部“砂页岩段”。根据近 20 余年在本地层中发现的菊石、腕足类、等化石,大多是“茅口阶”上部的分子,且该套地层基本上为一套滨浅海相沉积体,从层位、接触关系和岩相及与下伏、上覆地层特征和接触关系看,均有明显差异,应作为一个独立的地层单位,它代表了扬子区二叠纪海盆演化的一个重要阶段。Psq9 的岩性、岩相、主要生物及层序内划分详见(图 2, 3)。

2.10 层序 10 (Psq10)

层序 10 为 II 型层序,时限约 3 Ma. 与 Psq9 一

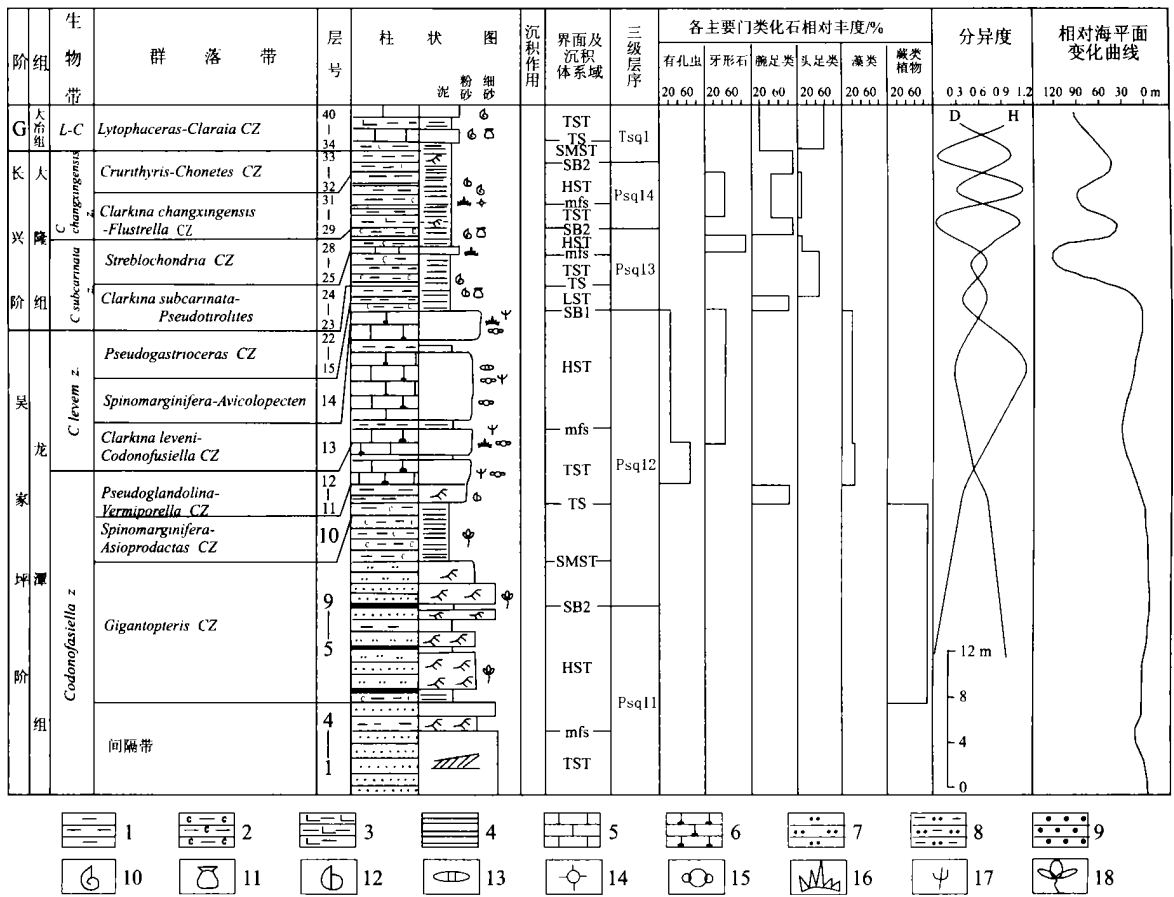


图 4 湖北黄石冶钢二门上二叠统吴家坪阶、长兴阶层序地层柱状图

Fig. 4 Column of sequence stratigraphy of Wujiapingian-Changxingian at Ermen, Yegang in Huangshi, Hubei Province

1. 泥岩; 2. 炭质泥岩; 3. 钙质泥岩; 4. 页岩; 5. 灰岩; 6. 含燧石结核灰岩; 7. 粉砂岩; 8. 泥质粉砂岩; 9. 砂岩; 10. 菊石; 11. 双壳动物; 12. 腕足动物; 13. ; 14. 放射虫; 15. 有孔虫; 16. 牙形石; 17. 钙藻; 18. 古植物

样,可区分出浅海碳酸盐台地(安徽宿松)和滨浅海及滨海沼泽碎屑岩相区(安徽宿松以东至江苏宁镇地区),对应的岩石地层单位分别为茅口组灰岩上部、武穴组灰岩上部、银屏组及堰桥组的上部。Psq10 内部划分及沉积体系域特征、充填方式等详见图 2 和图 3。需指出的是,下扬子区碎屑岩相区的 Psq10 在区域上有如下变化规律:(1) 从北到南,自西向东沉积厚度加厚,沉积中心在泾县、宣城一带;(2) 由北到南硅质成分减少,泥碳质成分增高,在铜陵钟鸣龙门一带 Psq10 下部主要为含放射虫硅质岩与硅质泥岩互层;自西向东砂质成分增加,碎屑粒度变粗,并渐含钙质;(3) 自下而上总体上为向上变浅的进积型序列,由海相逐渐过渡到陆相,在邻接华夏古陆的宁镇—浙西北长兴一线,其上部产丰富的陆生植物群,而向西南方向到安徽铜陵、巢县等地层始终以海相为主。

2.11 层序 11(Psq11)

层序 11 是 I 型层序,时限约为 2 Ma,相当于乐平统吴家坪阶下部。在下扬子区为主要由一套滨海平原泥碳沼泽碎屑岩组成,系海陆交互相,泥炭沼泽相沉积,岩性主要为灰、深灰、灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩夹细砂岩、粉砂岩,中—上部含煤 2~9 层,泥岩和粉砂质泥岩中富含植物: *Gigantopteris*, *Pecopteris*, *Compsopteris*, *Taeniopteris*, *Cordaites*, *Annularia*, *Stigmaria* 及潮间带常见生物 *Lingula* 等, Psq11 的底部在各地多数以一层具楔型或板状交错层理砂岩开始,顶部以煤层或煤线及泥岩层结束。

2.12 层序 12(Psq12)

层序 12 是 II 型层序,时限约为 2 Ma,相当于乐平统吴家坪阶上部,与 Psq11 一样,在下扬子区主要为是一套海相泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩夹生物碎屑泥晶灰岩或灰岩透镜体,产菊石 *Anderssonoceras*。

Planodiscoeras, *Konglingites*, *Hunanoceras* 等; 双壳类 *Hunanopcten*, *Enantiostrœon*, *Nuculopsis*, *Aviculicostebs* 等; 腕足类: *Crurithyris*, *Chonetella*, *Spinomarginifera*, *Oldhamina*, *Lingula* 等; 珊瑚 *Lophophyllidium*, *Paracania* 等; *Codonofusiel-la*; 牙形石 *Clarkina leveni* 及有孔虫、三叶虫、钙藻等。在邻近东南部华夏古陆的镇江—苏州一线, Psq12 的顶部出现含陆生植物的泥质粉砂岩及粉砂质泥岩层, 并夹薄煤线。Psq12 海侵高潮期该海盆水深最大处是安徽铜陵一带, 如铜陵永红剖面 Psq12 的中部主要为一套黑色薄层状放射虫硅质岩, 产菊石 *Konglingites* 等, 推测水深大于 100 m, 是当时海盆的最大拗陷处。Psq12 层序内构成的典型剖面分析详见图 2, 图 4。龙潭组中存在两个暴露不整合面, 即 Psq11 和 Psq12 的顶面, Psq11 的顶部以近滨面河漫滩沼泽堆积物发育为特色, 往往出现由多层煤层或煤线构成的“煤组”。Psq12 的顶面在古陆和古岛周围, 发育 5~15 cm 的灰褐色底砾岩风化壳, 与上覆的长兴期地层呈假整合接触关系, 如向盆一侧追索, 则由假整合变为整合接触。

2.13 层序 13 (Psq13)

层序 13 位于长兴阶下部, 时限约为 1 Ma, 是 I 型层序, 由 LST, TST 和 HST 构成。在下扬子区 LST 分布于台缘斜坡(长兴煤山—宜兴湖滢)和深水盆地(宁镇地区、安徽铜陵、巢县、怀宁等地), 早期进积型, 晚期加积型, 它向台地变薄尖灭, 在浅水碳酸盐台地(苏州太湖西山、吴兴黄芝山, 无锡嵩山等地)仅由 TST 和 HST 构成。TST 由显著的退积型副层序组构成, 岩相、生物相均显示海侵不断扩大、海水不断加深。长兴煤山 Psq13 沉积时处于台缘下斜坡地带, TST 的背景沉积物主要是深水盆地相薄—中层状灰黑色具硅质条带含沥青质硅质泥晶灰岩, 被一系列他生旋回的具正粒序层理、平行层理、沙纹层理、小型包卷层理泥粒灰岩层所中断, 这种他生旋回层可能由地壳微颤动、特大风暴等触发沿斜坡而下的灰泥浊流所形成, 在煤山 Psq13 中可识别出 70 余个这样的浊积岩层^[5]。

深水陆棚区或深水盆地内的海侵面一般不与层序底界面兼并, 尤其在 II 型层序中更是如此, Psq13 在深水盆地内的“大隆硅质岩相”中, TS 面单独存在, 但进入到碳酸盐台地区的吴兴黄芝山, TS 则与 SB 兼并。海侵面上、下沉积体叠加方式不同, 海侵面之下以进积或加积型为主, 海侵面之上为退积型。如

浙江长兴煤山 Psq13 的 TS 面之上为约 1 m 厚的具冲槽充填构造泥粒灰岩层^[5], 为区域性过路冲蚀产物, 这是因为在海进序列之底, 于波基面上常发生冲刷作用, 以该面为界前期的进积型序列转换成退积型序列。

在安徽广德独山, 可见斜坡相碎屑流堆积物。煤山 Psq13 的 HST 下部为加积型序列, 由灰黑色具水平纹层碳、硅质骨针泥晶灰岩构成, 生境型为 IV₂, 是长期海侵高潮产物, 同期地层进入深水盆地相区(安徽铜陵、巢县), 相变为大隆组的黑色薄层状具水平纹层放射虫硅质岩、硅质泥岩。在 mfs 附近的 CS 层中往往富含有机碳, 水平纹理发育, 富含还原相硫化物, 缺乏底栖生物类群, 标志缺氧环境。如长兴煤山长兴期 Psq13 的 mfs 以灰黑色中薄层状具水平纹理含碳质和黄铁矿晶粒的硅质骨针泥晶灰岩(缺氧事件层)取代了前期深灰色中层状具微波状层理生屑泥粒灰岩(充氧层)^[5]。HST 的上部在碳酸盐台地区主要由深灰色、灰色中—厚层状具微波状层理生屑泥粒灰岩、灰色厚层状生屑泥粒、生屑泥粒灰岩构成, 向上生物扰动加强, 生物屑粒度变粗, 较深水生境型被较浅水生境型替代, 为海退序列。在深水盆地, HST 上部由硅质泥岩渐变为粉砂质泥岩或泥质粉砂岩(图 2, 4), 亦为海退过程中的进积型序列。

2.14 层序 14 (Psq14)

层序 14 位于长兴阶上部, 是 II 型层序, 时限约 1 Ma, 由 SMST, TST 和 HST 构成。以浙江长兴煤山剖面为例, Psq14 的 SMST 为一灰色、浅灰色中厚层状具微波状层理和生物扰动构造含燧石条带生屑泥粒灰岩, 从下向上由 III_b 生境型变为 III_c, 进积型序列。SMST 向浅水台地到吴兴黄芝山缺失, 向深水盆地相变为大隆组的硅质粉砂岩。煤山 Psq14 的 TST 由 9 个各自向上变浅的进积型副层序构成, 总体上构成一个向上变深的退积型副层序组。每个副层序的下部为较深水相灰黑色薄层状具水平层理硅质泥晶灰岩, 上部为较浅水相灰色中厚层状具微波状层理和生物扰动构造泥粒灰岩。对应于深水盆地相区的大隆组副层序, 其下部为黑色薄层状硅质泥岩, 上部为黑色中层状硅质岩。煤山 Psq14 的 HST 下部为灰黑色中薄层状含放射虫碳质泥晶灰岩, 向深水盆地相的南京湖山相变为放射虫硅质灰岩^[6], 代表长兴晚期最大海侵期产物。煤山 Psq14 的 HST 上部为灰、浅灰色具微波状层理生屑泥粒灰岩, 进积型序列, 从下向上 IV₁ 生境型被 III_b 生境型替代, 整个

HST 约由 27 个进积型副层序构成^[5]。

参考文献:

- [1] Remane J. 国际地层表说明[J]. 金玉干, 译. 地层学杂志, 2000, 24(增刊): 321—340.
- Remane J. Explanatory note to the international stratigraphic chart [J]. Translated by Jin Y G. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(Suppl): 321—340.
- [2] YIN H F, ZHANG K X, TONG J N, et al. The global stratotype section and point (GSSP) of the Permian-Triassic boundary[J]. Episodes, 2001, 24 (2): 102—114.
- [3] 张克信, 赖旭龙, 丁梅华, 等. 浙江长兴煤山二叠—三叠系界线层牙形石序列及其全球对比[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(6): 669—676.
- ZHANG K X, LAI X L, DING M H, et al. Conodont sequences and its global correlation of Permian-Triassic boundary in Meishan section, Changxing, Zhejiang Province[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(6): 669—676.
- [4] 殷鸿福, 丁梅华, 张克信, 等. 扬子及其周缘东吴—印支期生态地层学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- YIN H F, DING M H, ZHANG K X, et al. Dongwu—Indosinian (Late Permian-Middle Triassic) ecostratigraphy of the Yangtze region and its margins [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [5] ZHANG K X, TONG J N, YIN H F, et al. Sequence stratigraphy of the Permian-Triassic boundary section of Changxing, Zhejiang, southern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(1): 90—103.
- [6] 张克信, 吴顺宝, 刘勇勤. 南京湖山大隆组放射虫和牙形石及其指相意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1992, 17(3): 295—300.
- ZHANG K X, WU S B, LIU Y Q. Radiolarians and conodonts from the Dalong Formation at Hushan of Nanjing and their facieological significance [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1992, 17(3): 295—300.

Research on Outcrop Sequence Stratigraphy of Permian in the Middle-Lower Yangtze Region

ZHANG Ke-xin, LIU Jin-hua, HE Wei-hong, WU Shun-bao

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the latest International Chronostratigraphic Scheme (ICS, 2000), the Permian in the middle-lower Yangtze region of South China traditionally can be divided into three series and nine stages or relevant to six stages. From Assellian to Changxingian of Permian, 44 Ma in age range, the strata are composed of 14 third-order sequences, 3.14 Ma in average age range of each third-sequence. There is one third-order sequence in Zisongian, equivalent to middle and upper Chuanshan Formation or equal to Assellian and two thirds of Sakmarian. There are two third-order sequences, corresponding to Liangshan Formation or Zhenjiang Formation. And upper Chuanshan Formation, which are assigned to Longlingian, coinciding with Artinskian and one third of Sakmarian. In addition, three of them, equal to Qixia Formation, are attributed to Qixian, corresponding to Kubergandian and one third of Roadian. Five of them, comprising Kuhfeng Formation, Maokou Formation, Yanqiao Formation, Yinping Formation and Wuxue Formation, are assigned to Maokouan, equivalent to two thirds of Roadian, Wordian and Capitanian. Two of them, equal to Lungtan Formation or Wujiaping Formation, are included in Wujiapingian. Other two of them, corresponding to Changxing Formation or Talung Formation, are assigned to Changxingian. In brief, these above third-order sequences can be incorporated into 4 sequence sets.

Key words: system tract; third-order sequence; sea-level change; Permian; middle-lower Yangtze region.