

扬子板块石炭纪沉积层序及其全球性对比研究^①

李儒峰¹ 刘本培² 赵澄林¹

¹(石油大学,北京 102200) ²(中国地质大学,北京 100081)

提 要 通过对石炭纪扬子板块内部、扬子板块与华北板块及扬子板块与欧美板块之间的不同级别沉积层序对比研究,编制了扬子板块、华北板块和欧美板块石炭纪的海平面变化曲线。在扬子板块内部,上、下扬子区 2 级沉积层序可以进行对比,但下扬子区海进和海岸上超滞后于上扬子区,由于资料的限制,3 级沉积层序的对比还有困难;华北板块 *Fusulina-Fusulinella* 带内的一个 3 级沉积层序和 *Triticites-Peudoschwagerina* 带内的四个 3 级沉积层序,可以和扬子板块同期的 3 级沉积层序对比;扬子板块和北美中大陆不仅 3 级沉积层序可以对比,而且在晚石炭世 *Gzhelian* 期 4 级沉积层序也可以进行对比,但由于它们大地构造背景的差异,导致沉积层序组成内容的不同。上述对比结果被认为是冰川型全球海平面变化所形成全球沉积记录同时性的证据。并以冰期与非冰期、联合古陆形成前后等方面对相同板块内和不同板块间沉积层序的数量和级别的异同原因进行了探讨,认为石炭纪冈瓦纳大陆冰川消长是控制全球海平面变化的主要因素,因此,沉积层序应具全球同时性和可对比性,但局部沉积条件差异也将影响沉积层序组成。

关键词 石炭纪 扬子板块 华北板块 欧美板块 沉积层序 全球性对比

分类号 P 53

第一作者简介 李儒峰 男 34岁 博士后 沉积学、层序地层学

在地质发展历史中,石炭纪是联合古陆(Pangaea)开始形成的重要转折时期。世界各地克拉通陆架区的石炭纪浅海沉积中,海平面周期性升降所导致的沉积旋回发育。目前普遍认为^[1,2]冈瓦纳大陆冰川是控制沉积旋回的主要因素,而同步于由全球海平面变化的沉积记录—沉积层序,理论上应该具有全球同时性,因此,沉积层序分析使不同板块不同区域以及不同沉积相区的地层,在相同的等时地层格架内进行对比成为可能。然而,不同克拉通陆棚区局部沉积条件差异,也将影响受其控制的沉积层序。

本文以扬子板块石炭系经典研究地区—黔南和桂北地区层序地层学研究为基础,结合相同板块内的下扬子区和不同板块之间的华北以及代表欧美板块的北美中大陆已有的层序地层学研究结果,编制了上述各板块石炭纪相对海平面变化曲线(图 1),进行了不同级别沉积层序的对比,并从冰期与非冰期、Pangaea形成前后等方面对板块内和板块间沉积层序的异同原因和形成机制作了探讨。

1 扬子板块内部沉积层序对比

石炭纪扬子板块的海平面变化受冈瓦纳大陆冰川消长影响显著,沉积层序具有等时性。但由于上、下扬子区基底性质和构造活动的差异,因此,造成沉积层序样式的不同。

上扬子区黔南、桂北位于扬子板块南缘,石炭系发育完全,笔者在黔南独山(缓坡—台地相)和桂北南丹(盆地—斜坡相)两个代表不同相带的地区进行了较为精细沉积层序划分、描述和对比,结果证明:三级沉积层序在盆地内是完全可以进行追索和精确对比的;在晚石炭世晚期清水碳酸盐沉积环境下,四级沉积层序也可以进行大范围的对比^②。

下扬子区宁镇至宣城一带,位于早古生代扬子与华夏板块挤压活动的延续带,构造升降差异大,构造基底隆拗相间,海平面上升时,海侵和海岸上超滞后于黔桂盆地。根据冰川控制的相对海平面升降周期,可在下扬子区内识别出五个沉积层序:茨山组为第一个沉积层序,金陵组和高骊山组为第二个沉积

① 国家重大基础性研究项目“中国东部古大陆边缘层序地层及海平面变化研究”和石油大学沉积学博士学科点基金联合资助

② 李儒峰,1995,黔南桂北石炭纪层序地层海平面变化碳氧同位素特征及形成机制,中国地质大学(北京)博士学位论文

收稿日期:1996-03-20

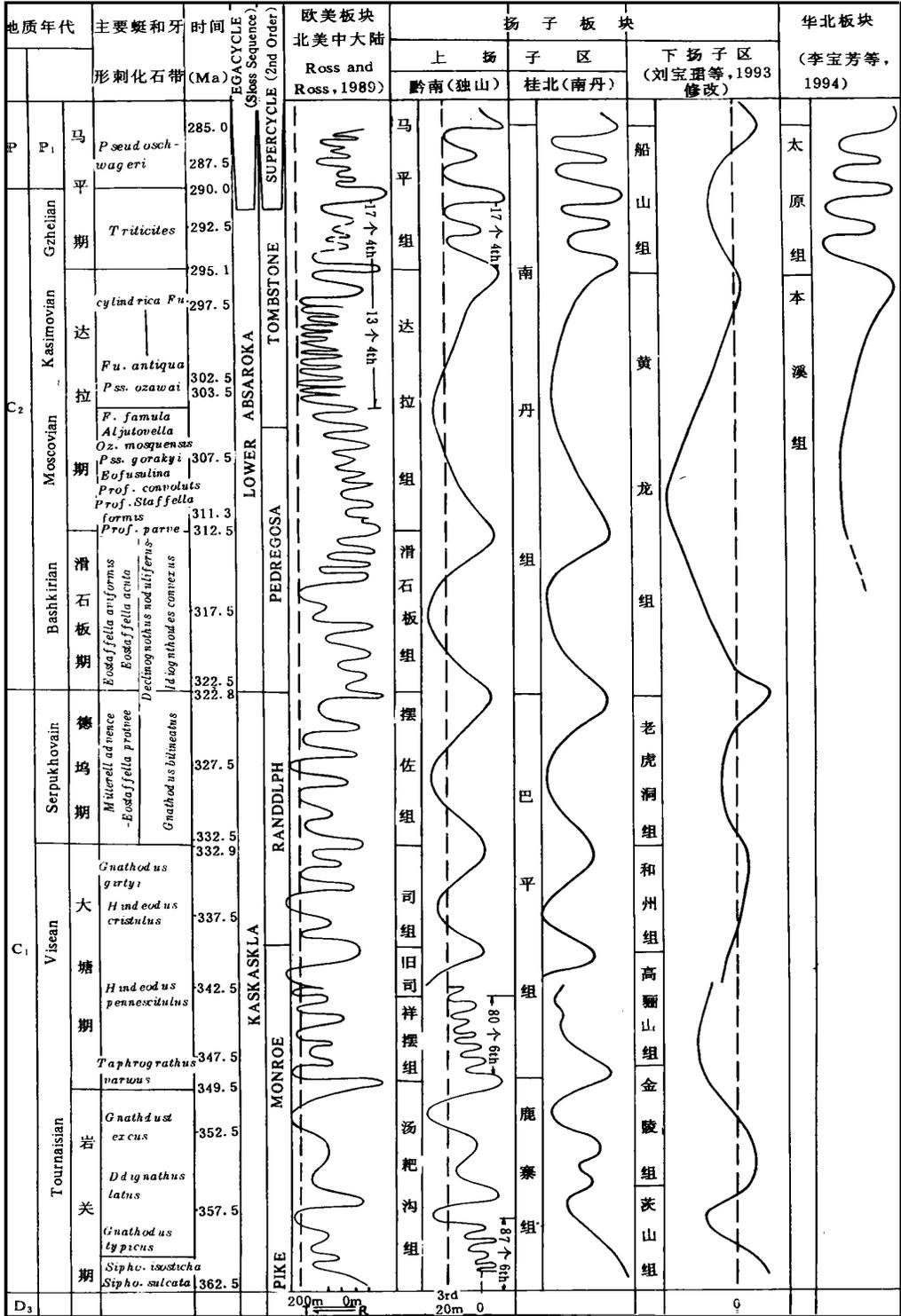


图 1 石炭纪不同板块海平面变化曲线对比

Fig. 1 Correlation of sea-level curves of the Carboniferous among different plates

层序,和州组和老虎洞组为第三个沉积层序,黄龙组和船山组分别为第四、五个沉积层序^[3](图 1)。除第一个沉积层序(2.5 Ma)之外,其余四个沉积层序的时间跨度均大于 10 Ma,超出三级沉积层序定义的时限范围^[4],因此,它们应属二级沉积层序。上、下石炭统所代表的 2 个二级沉积层序之间呈不整合接触,具体表现为:在宁镇地区,老虎洞组顶部与上覆黄龙组粗结晶灰岩为平行不整合接触,沉积间断面上有一层砾石,其成分为下伏老虎洞组白云质灰岩或白云岩^[5],是海平面下降造成的暴露经过再次海平面上升、海进侵蚀形成的滞留底砾岩层,是沉积层序界面的典型标志;在宣城地区,缺失相当于老虎洞组的和州组上段^[6],黄龙组碳酸盐岩上覆于和州组下段顶部沉积间断面之上。在黔南地区上、下石炭统之间 2 级沉积层序界线以摆佐组和滑石板组之间的沉积间断面为标志,具体表现为摆佐组顶部的海进侵蚀面和滑石板底部的滞留砾屑灰岩层。

关于下扬子区石炭纪层序地层系统研究的文献尚未见到,上、下扬子区之间还无法开展三级沉积层序对比,从目前资料看^[3],上、下扬子区二级沉积层序所反映的海平面变化曲线基本吻合,只是晚石炭两区海平面变化曲线存在一相位差,反映了下扬子区海进和海岸上超滞后于上扬子区(图 1)。

2 扬子板块与华北板块间沉积层序对比

石炭纪华北板块相对稳定,其沉积特征与扬子板块有明显差别,表现为华北板块从奥陶纪至早石炭世一直为剥蚀区,直到晚石炭世初期海水侵入才形成海陆交互相含煤沉积。

华北地区层序地层研究证明:本溪组(*Fusulina* - *Fusulinella* 带)存在一个三级沉积层序,太原组(*Triticites* - *Pseudoschwagerina* 带)存在四个三级沉积层序^①(图 1)。在由 *Triticites* 带和 *Pseudoschwagerina* 带所确定的等时地层格架内,扬子区马平组四个三级沉积层序完全可以与华北区太原组四个三级沉积层序相对比(图 1),尽管两区沉积样式差别很大(华北区为海陆交互相含煤沉积,扬子区为单一碳酸盐岩沉积),但是它们的沉积机制相同,均为由

快速海平面上升到慢速海平面下降过程的产物,沉积层序界面为沉积间断面,具体表现为:华北区浅海相生物屑灰岩突然大面积覆盖在砂岩、页岩或煤层之上,两者之间有明显的相序缺失现象;扬子区层序界面表现为上超面(马平组—达拉组)、铝土质泥岩风化壳(二叠系—石炭系)和明显海进侵蚀面^[7]。沉积层序底部的潮下环境泥晶灰岩直接覆盖在铝土质泥岩风化壳或潮间—潮上环境的具鸟眼(晶洞)藻纹层泥晶灰岩等暴露标志面之上,代表沉积层序之间存在着沉积间断。反映了冰川型海平面变化所形成的间断加积旋回(punctuated aggradation cycle)沉积特征。

3 扬子板块与欧美板块间沉积层序对比

石炭纪欧洲板块与北美板块已经联为一体,构成欧美大陆。英国加里东褶皱带大部分地区下石炭统为富含珊瑚和腕足类的浅海相灰岩,早石炭世末期发生的强烈的造山运动—苏台德运动(Sudetaian),造成了上、下石炭统所代表的 2 个二级沉积层序之间不整合型层序界面,上石炭统为砂页岩夹众多的煤层和海相层。北美早石炭世海侵广泛,沉积了以浅海相灰岩为主的地层,化石群落地方色彩强烈,以海百合、海蕾、菊石和腕足类为主,珊瑚次之,早石炭世末的阿帕拉契亚地槽褶皱升起造成广泛海退,形成了上、下石炭统所代表的 2 个二级沉积层序之间的区域不整合型层序界面。北美中大陆宾夕法尼亚(Pennsylvanian)石炭系是欧美板块石炭系的典型代表,其显著特点是地层旋回性发育。

Ross 等^[8]在研究总结了西北欧、北美中大陆、俄罗斯台地、乌拉尔和东亚等地沉积环境、地层间相互关系和古地理分布的基础上,以北美中大陆为重点建立了石炭—二叠纪层序地层和全球海平面变化曲线,系统地反映了年代地层、生物地层、层序地层和海平面变化四者之间的关系,提供了一个进行全球沉积层序对比的参考标准(图 1)。

将扬子板块和北美中大陆石炭纪沉积层序和海平面变化曲线对比发现两者具有以下异同之处(图 1):

① 李宝芳等,1994,华北某些煤田煤层气地质特征和选区评价地质参数的研究

4 *Triticites* 带的冰川型全球海平面变化

(1) Tournaisian (岩关期): 在相同的时间间隔内 (362.5~ 349.5 Ma), 海平面变化曲线形态基本相同, 都含有 2 个三级沉积层序。但四级沉积层序数量不同, 北美中大陆含有 3 个四级沉积层序 (其中下部三级沉积层序含 2 个, 上部三级沉积层序含 1 个), 而黔南仅含 1 个。

(2) Visean (大塘期): 海平面变化曲线的形态有一定差异, 沉积层序数量也不相同, 北美中大陆有 7 个三级沉积层序, 均由碳酸盐岩构成。黔南有 2 个三级沉积层序, 由碳酸盐岩和碎屑岩构成。

(3) Serpukhovian (德坞期): 北美中大陆有 8 个三级沉积层序, 砂岩、黑色页岩和灰岩是沉积层序的主要组分。黔南仅见有一个三级沉积层序, 由厚层块状灰岩和白云质灰岩构成, 旋回性差。

(4) Bashkirian (滑石板期): 是北美中大陆石炭纪海平面最低时期, 新墨西哥西南和亚利桑那东南的 Pedregosa 盆地边缘碳酸盐陆架都有明显的暴露, 共有 7 个三级沉积层序。黔南仅识别出一个三级沉积层序, 以生物屑灰岩和白云岩为主。

(5) Moscovian 和 Kasimovian 下部大致与达拉期相当。北美中大陆表现为高频高幅的海平面升降旋回特征, 包括一些次级海平面升降, 总共有 20 多个旋回。二级海平面变化曲线显示海平面逐渐上升

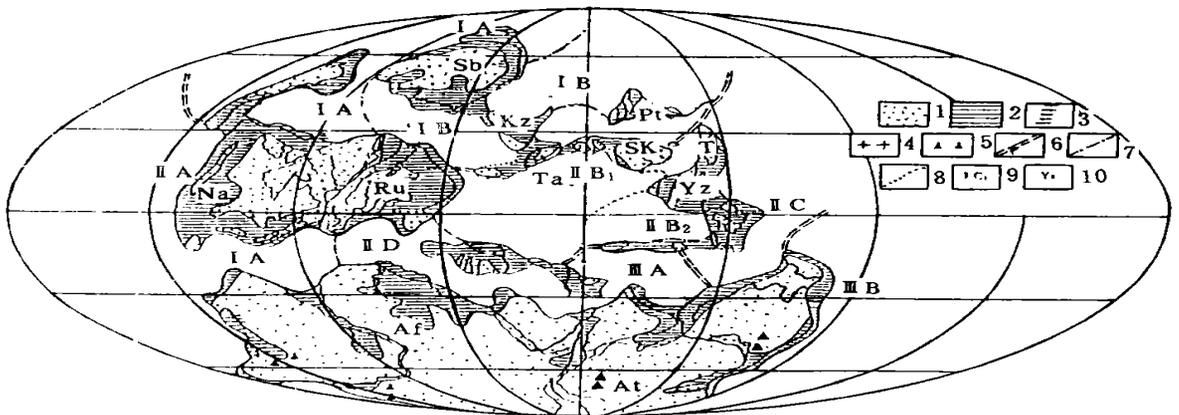
的海进过程。黔南达拉组仅见 1 个三级沉积层序, 层序内由泥晶灰岩、含珊瑚灰岩和含蜓灰岩构成次一级沉积旋回 (准层序)。

(6) Kasimovian 上部和 Gzelian, 即 *Triticites* 带内, 北美中大陆和扬子板块均含有 17 个级沉积旋回, 前者表现为具有层序的组成特征的亚层序 (Subsequence), 后者表现为准层序 (parasequence)。

北美中大陆晚石炭世 (Pennsylvanian) 地层历来以旋回性清晰和研究历史悠久而闻名于世。80 年代以来对其进行的旋回地层学和层序地层学研究获得了重大进展^[9]。Ross 等^[10] 根据海岸上超记录的统计, 将北美中大陆 *Triticites* 带内的 17 次海侵—海退旋回视为三级沉积层序。Heckel^[9] 在上石炭统内进一步区分出大、中、小不同级别旋回, 并估算出大型旋回延续时间为 235~ 400 Ka, 小型旋回为 40~ 120 Ka, 分别得出接近 Milankovitch 轨道参数的偏心率和斜度周期的结论。笔者认为: 北美中大陆晚石炭世数量众多的沉积旋回并不代表三级沉积层序, 而将其归为四级沉积层序可能更为合理。

北美中大陆上石炭统内由于高频沉积层序十分发育, 关于三级层序建立报道尚不多见。仅见有 Buch^[11] 明确指出: 在北美中大陆 *Triticites* 带内存在 2 个三级层序。这与笔者对扬子板块同期地层序分析得出结果一致^[7]。

扬子板块 *Triticites* 带沉积旋回和北美中大陆同期沉积旋回对比具有以下共同特征:



1 陆地; 2 浅海沉积区; 3 煤系沉积; 4 蒸发沉积; 5 冰成沉积; 6 生物古地理大区界线; 7 生物古地理区界线; 8 生物古地理亚区界线; 9 生物古地理分区编号 (I 北方大区; I A 西伯利亚区; I B 蒙古—兴安区; I C 哈萨克斯坦—内蒙区; II 特提斯大区; II A 西特提斯区; II B 北特提斯区; II B₁ 塔里木—秦岭亚区; II B₂ 扬子亚区; II B₃ 吉林—西南日本亚区; II C 南特提斯区; II D 欧洲区; III 冈瓦纳大区; III A 藏南区; III B 澳大利亚区;); 10 地块代号 (Af 非洲; At 南极洲; Yz 扬子; Sk 中朝; Ta 塔里木; Na 北美; Ru 东欧; Sb 西伯利亚)

图 2 全球早石炭世古大陆再造图 (据王鸿祯等, 1990 修改)

Fig. 2 Global paleocontinent reconstruction in the Early Carboniferous (Wang Hongzheng et al, 1990)

(1) *Triticites*带内都含有 2个三级沉积层序。

(2) *Triticites*带都含有 17个沉积旋回,其延续时间均为 5 Ma (295~ 290 Ma)。

(3) 17个沉积旋回都具有快速海侵、缓慢海退的间断加积旋回 (PAC)性质

(4) *Triticites*带最顶部的沉积旋回中都缺乏海退期沉积记录^[7, 12],反映了沉积间断的层序界面性质。

据此证明: 扬子板块和北美中大陆之间 *Triticites*带内的 17个沉积层序可以进行对比,是晚石炭世存在冰川型全球海平面变化的佐证。

5 沉积层序形成机制探讨

通过对石炭纪相同板块内部、不同板块之间、特别是以黔南为代表的扬子板块与北美中大陆之间沉积层序的对比,反映出早、晚石炭世存在着大冰期与非大冰期的差异,并认为扬子板块、华北板块及欧美板块之间古地理面貌的差异,各板块边缘构造活动性的不同是导致上述各板块沉积层序组成存在差异的主要原因。

5.1 早石炭世沉积层序形成机制

黔南、桂北同属扬子板块南缘,石炭纪构造活动相对较弱,在此基础上,早石炭世发育了一套碳酸盐缓坡相沉积层序。由于黔北古陆陆源物质供给较为丰富,因此,沉积层序为碳酸盐岩和碎屑岩混合沉积类型,沉积层序特征比较清楚,容易识别。三级沉积层序普遍表现为低频低幅。部分三级沉积层序的海进体系域内 (TST)韵律层 (6级沉积旋回)发育,沉积层序界面均以沉积间断为标志,反映了构造稳定的缓坡沉积环境特点。

华北板块早石炭世为剥蚀区,尚无沉积。

欧美板块早石炭世为单一碳酸盐沉积类型,沉积层序以明显的暴露面所反映的沉积间断为层序界面,并且具有清楚的凝缩层。三级沉积层序以中频高幅 (100~ 200 m)为特征。

从全球早石炭世古大陆再造图 (图 2)可以看出: 扬子板块 (Yz)与欧美 (Na Ru)板块这一时期基本处于相同的古纬度,它们之间由古特提斯洋相互沟通,因此,古气候及海平面变化对沉积层序形成的影响应该是相同的。造成板块之间沉积层序内容、规模和级别不同的原因是板块边缘构造活动差异性。

5.2 晚石炭世沉积层序形成机制

晚石炭世已经出现构造相对稳定的联合古大陆

(Pangea)雏型。上述各板块都处于大致相同的古纬度—热带和亚热带气候带内,因此,这一时期冈瓦纳大陆冰川消长引起全球海平面变化对它们的影响是相同的。但由于大地构造环境及其构造沉降、沉积速率等条件的差异,扬子板块 (黔南) *Triticites*带中 17个沉积旋回所代表的层序地层级别意义和北美中大陆不同: (1)北美中大陆晚石炭世处于毗邻阿帕拉契亚—瓦契塔山地的较深水陆棚部位,发育了富含牙形刺黑色页岩、泥屑灰岩、碳质页岩和煤层等混合沉积类型。较大的沉降幅度和丰富的陆源碎屑供应,导致一次四级海平面升降 (幅度 $\geq 60\text{m}$)过程中出现沉积体系域的规律性变化和明显的陆上暴露等关键界面记录,符合一个三级沉积层序的各种物理标志,但从时间尺度衡量,其周期明显小于 1~ 0.5 Ma,所以将其定义为亚层序。

黔南地区晚石炭世处于构造分异微弱的水碳酸盐台地环境,岩石类型单调,水深变化不大 (幅度 $\leq 20\text{m}$),海进 (泛)冲蚀作用显著,在一次四级海平面升降过程中仅形成准序级的沉积记录。

6 结论

通过对石炭纪扬子板块内部、扬子板块与华北板块及扬子板块与欧美板块之间的不同级别沉积层序对比研究,编制了它们的相对海平面变化曲线。得出: 上述各板块之间 (1)二、三级沉积层序可以进行对比; (2)由晚石炭世冈瓦纳大陆冰川消长引起的全球海平面变化所构成的四级沉积层序,也可以进行全球对比; (3)相同级别的全球海平面变化在不同地区可以形成不同样式的沉积层序; (4)在层序地层学研究中需要对层序级别及其形成机制进行具体分析,只有这样才能达到利用不同级别沉积层序对地层进行正确追踪和等时对比的目的。

参 考 文 献

- [1] Veevers J J, Powell C. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequences in Euramerica. Geological Society of America Bulletin, 1987, 98: 475~ 487.
- [2] Crowley T J, Baum S K. Estimating carboniferous sea-level fluctuation from Gondwanan ice extent. Geology, 1991, 19: 975~ 977.
- [3] 刘宝君,许效松,潘杏南等.中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿.北京:科学出版社,1993,66~ 67.
- [4] Vail P R, Mitchum R M and Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. in Payton C E. ed. Seis-

- mic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration 1977, 26: 83- 98.
- [5] 陈敏娟, 黄建辉. 再谈宁镇地区老虎洞组的时代. 地层学杂志, 1980, 4(2): 152- 154.
- [6] 夏广胜, 徐家聪. 安徽巢湖地区早石炭世地层. 地层学杂志, 1980, 4(2): 87- 95.
- [7] 刘本培, 李儒峰, 尤德宏等. 黔南独山石炭系层序地层及麦粒蜓带冰川海平面变化. 地球科学, 1994, 19(5): 553- 564.
- [8] Ross C A, Ross J R. Late Paleozoic sea level and depositional sequences. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, 1987, 24: 137.
- [9] Heckle P H. Sea-level curve for Pennsylvanian eustatic marine transgressive-regressive depositional cycles along midcontinent outcrop belt, North America. Geology, 1986, 14: 330- 334.
- [10] Ross C A, Ross J R. Late Paleozoic depositional are synchronous and worldwide, Geology, 1985, 13: 194- 197.
- [11] Busch, R M, Rollins H B. Correlation of Carboniferous strata using a hierarchy of transgressive- regressive units, Geology, 1984, 12: 471- 474.
- [12] Boardman D R. Glacial-eustatic sea-level curve for Late Pennsylvanian sequence in north-central Texas and biostratigraphic correlation with core for mid-continent North America, Geology, 1989, 17: 802- 805.
- [9] Heckle P H. Sea-level curve for Pennsylvanian eustatic marine

Correlation of Carboniferous Depositional Sequences on the Yangtze Plate with Others on A Global Scale

*Li Rufeng*¹ *Liu Benpei*² and *Zhao Chenglin*¹

¹(University of Petroleum, 102200) ²(Geosciences University of China, 100083)

Abstract

Based on the correlation of the depositional sequences in different orders on the internal Yangtze Plate, Yangtze Plate and Huabei Plate, Yangtze Plate and Euramerica Plate, the sea-level curve of the Carboniferous in the main areas of worldwide was worked out. within the Yangtze Plate, the 2nd order deposition sequence can be correlated between the Upper Yangtze and Lower Yangtze region, but transgression and onlap on the Lower Yangtze region lagged the Upper Yangtze region, the 3rd order depositional sequence can not be correlated because of lacking enough data. In the Huabei Plate, there are one 3rd order depositional sequence in the *Fusulinella-Fusulina* zone and four 3rd order depositional sequences in the *Triticites-Pseoschwagerina* zone, all of them can be correlated with those on the Yangtze Plate. Between the Yangtze Plate and the Euramerican Plate, the 3rd and 4th order can be correlated during Gzhelian of the Later Carboniferous, but the compositions of the the 4th order depositional sequence is different because the Yangtze Plate and the North Mid-American continent (representing the Euramerican Plate) are located in different tectonic setting, the same number of the 4th order depositional sequences on the two different plates is regarded as the proof of depositional records of synchronicity, which was caused by global glacial-eustasy. Those reasons of the similarity and difference on the depositional sequence orders for the same plate or different plate were discussed both for the glacial period and nonglacial period. The glacial eustasy is the primary factor which controls depositional sequences . There should be global synchronicity among depositional sequences . But the difference of deposition condition in the some area will also affect compositions of depositional sequences .

Key Words carboniferous Yangtze plate Huabei plate eumerican plate depositional sequence global correlation