

中扬子台地下奥陶统含礁层系层序地层研究

肖传桃 朱忠德 李相明

(江汉石油学院地球科学系,湖北 荆州 434102)

摘要:运用露头层序地层学原理与方法,将中扬子台地早奥陶世含礁地层划分为 4 个 II 型层序,并阐述了各层序的体系域特征和形成的沉积动力学机制以及海平面变化对沉积、生物迁移、生物礁及环境的控制作用。认为在含礁层序形成过程中,存在着 4 个海平面变化旋回,第一旋回为两河口期早至中期,第二旋回为两河口期晚期至道保湾期早期,第三旋回为道保湾期早至晚期,第四旋回为大湾期早至中期,其中两河口期存在着 3 个次一级的旋回,第一旋回发生于分乡组二段(鲕粒段);第二旋回发生于分乡组三段(互层段);第三旋回发生于分乡组四段(夹层段);识别出 3 个平衡型碳酸盐体系和一个滞后型碳酸盐岩沉积体系。研究表明,分乡组与红花园组生物礁均形成于高海平面时期。由于海平面变化过程中存在多个次一级的旋回,致使本区生物礁具有厚度和规模小、数量多和分布广等特点。

关键词:层序地层;海平面变化;体系域;生物礁;中扬子地区;奥陶纪

中图分类号:P534.42 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2003)03-0274-07

研究区位于扬子地台区中部,下奥陶统总厚度约 300 m,以碳酸盐岩沉积为主,间夹页岩,总体属台地相沉积,其中分乡期至红花园期发育了大量的生物礁,且礁体具有厚度和规模小、数量多和分布广等特点,形成了本区早奥陶世最具特征的沉积。本区奥陶纪地层中的生物化石不仅门类繁多、数量丰富,而且演化迅速,已具有好的生物地层学和年代地层学研究基础。

本区奥陶系前人研究工作多侧重于地层学^[1]、沉积学^[2-3]及石油地质学^[4],有关层序地层学的研究较少^[5],且主要为二级旋回研究。本文重点对早奥陶世含礁层系开展层序地层研究,探讨海平面变化对沉积物、生物礁的形成和生物迁移等的控制作用。笔者以黄花场剖面作层序地层标准剖面,并与秭归新滩、宜昌黄花场、枝江乌龟桥、松滋刘家场剖面进行对比,对研究区开展层序地层学研究。

1 层序地层划分与对比

在生物地层和沉积相研究基础上,运用层序地层学原理与方法可将研究区下奥陶统划分为 4 个 II 型层序(图 1)。因该时期本区属台地相区,SMT(陆棚边缘体系域)不发育,故每个层序都只发育有海进体系域和高水位体系域。分述如下:

1.1 层序 I

1)层位:本层序对应层位为两河口阶下部和上部,相当于笔石 *Dityonema? yichangense*-*Acanthograptus sinensis* 带^[6]之底,包括南津关组至分乡组一段。

2)组成:本层序发育有 TST(海进体系域)和 HST(高水位体系域),其下伏地层(西陵峡组)属前一层序的 HST。在区域上本层序之底未见有河流回春作用以及相带向盆地方向迁移等现象,故其底界属 II 型界面。

收稿日期:2002-10-22;改回日期:2003-05-06

基金项目:湖北省教育厅重点科技项目基金资助。

作者简介:肖传桃,男,1965年生,硕士,教授,主要从事综合地层学、古生态学及沉积学的研究;E-Mail:xiaoct@msn.com。

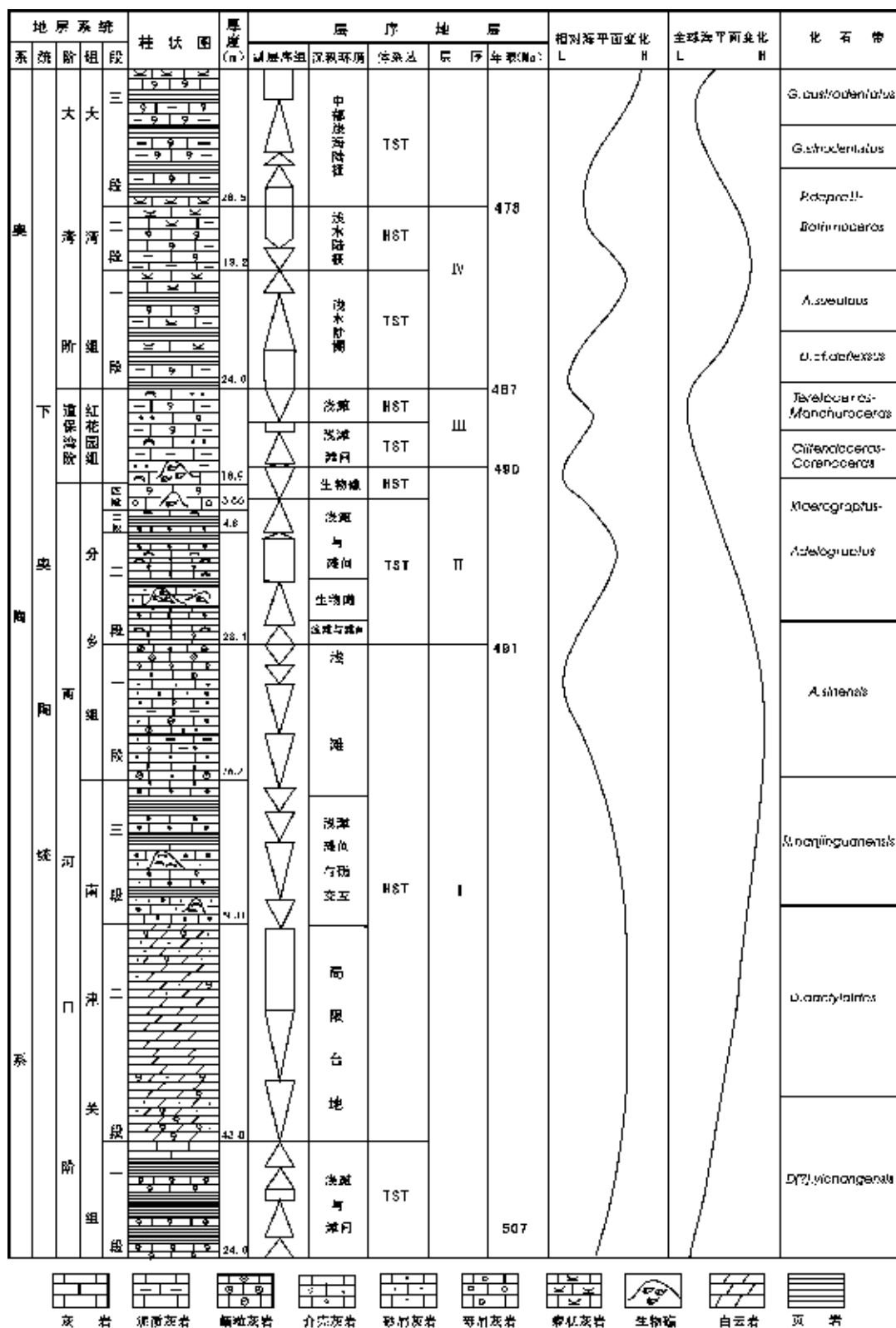


图 1 湖北宜昌黄花场地区早奥陶世含礁层段层序地层格架

Fig. 1 Framework of the sequence stratigraphy of Early Ordovician reef-bearing strata in the Huanghuachang area, Yichang, Hubei

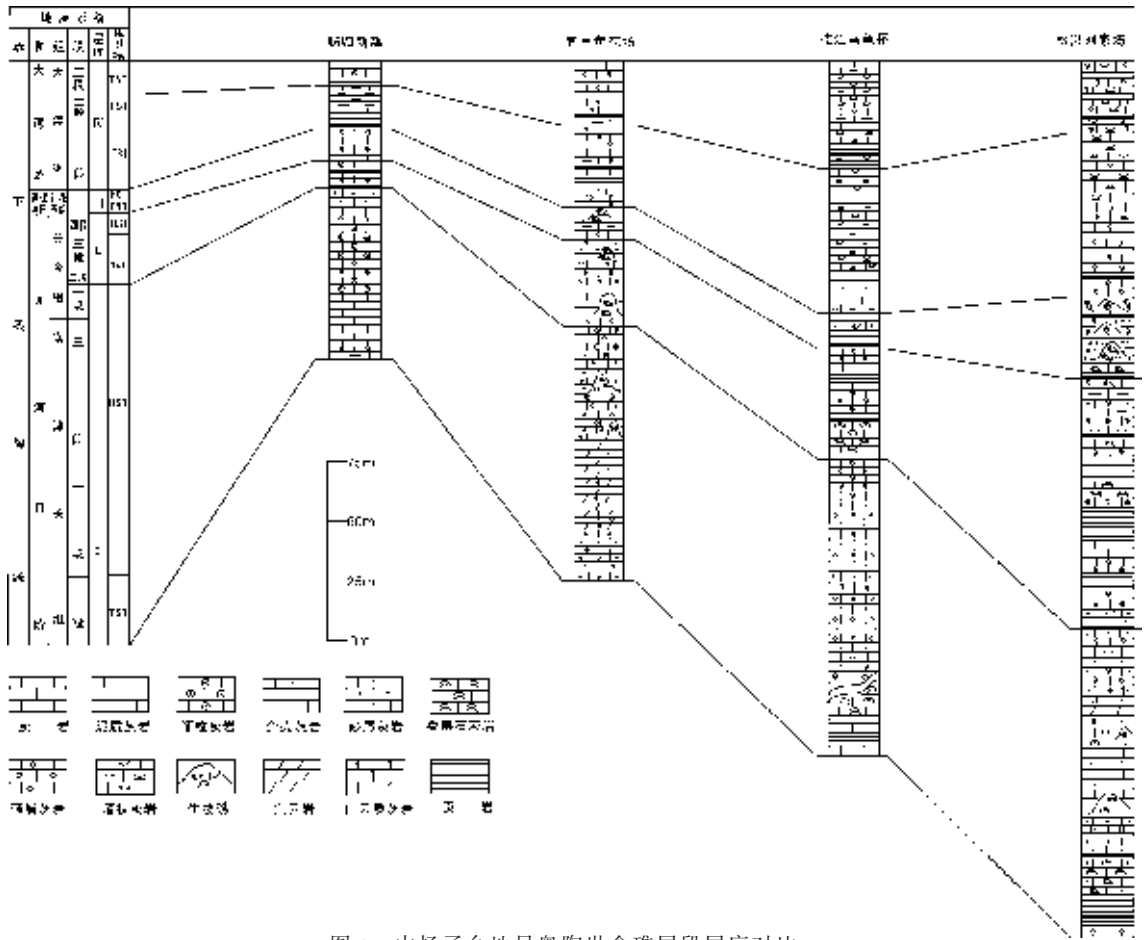


图 2 中扬子台地早奥陶世含礁层段层序对比

Fig. 2 Correlation of Early Ordovician reef-bearing depositional sequences in the middle Yangtze platform

TST为南津关组一段台地边缘浅滩相亮晶砂、砾屑灰岩和生屑灰岩组成,其中,松滋刘家场和枝江乌龟桥夹页岩或泥岩。其副层序呈退积至加积方式堆积。其中产广布性笔石 *Dictyonema? yichangense* 动物群。该体系域在横向上从秭归新滩—宜昌黄花场—枝江乌龟桥—松滋刘家场 (以下称新一黄—乌—刘)厚度变化不大,但往刘家场方向有厚度逐渐增大的趋势和页岩逐渐增多的趋势,这种现象显示了本区的海侵来自东南方向的华南海槽。

HST为南津关组二段至分乡组一段台地边缘浅滩相亮晶砂砾屑白云岩,白云质灰岩及含鲕状砂、砾屑灰岩、鲕状灰岩及叠层石礁灰岩组成,其副层序呈加积至进积型的堆积方式。产头足类 *Projiaceras—Mamaougoceras* 组合。由本层序 HST 中的副层序叠置方式、岩石结构及相类型可知,其 HST 由平衡型 (Keep-up)碳酸岩体系构成。

3)沉积动力学分析:两河口期早期,本区发生了奥陶纪海平面第一次上升事件,且与全球性海平面上升同步。该次海平面上升在本区形成了一套亮晶砂、砾屑灰岩及亮晶生屑灰岩及滩间亚相的页岩、泥质灰岩沉积,且由东南向西北方向页岩逐渐减小,这表明其海侵方向来自本区东南方向的华南海槽,由该体系域副层序退积—加积堆积方式可知,其海平面上升幅度不大,继之,本区奥陶纪第一次海平面上升到达高海平面阶段,在该阶段中由于容纳空间增长速率与碳酸盐的堆积速率近于相等,形成了以浅滩相和礁相为特征的加积至进积型的副层序叠置体,其岩石结构体现了较为典型的平衡型高水位体系域的特征。由于在高水位期间,容纳空间增长速率的减慢,海水的循环变得良好而稳定,水体中氧的含量和光线充足,生物得以大量繁盛;又因本区处于热带至亚热带地理位置,故造礁生物如 *Cyanobacteria* 得

以繁盛,并形成了叠层石粘结岩隆礁。

1.2 层序 II

1)层位:该层序对应位为两河口阶上部至道保湾阶下部,相当于笔石 *Acanthograptus sinensis* 带至头足类 *Clitendoceras-Coreanoceras* 带底部,包括分乡组二至四段及红花园组底部。

2)组成:本层序发育有 TST 和 HST 两个体系域。在区域上,本层序底部未见有河流回春作用及相带向盆地方向迁移等暴露标志,且 TST 直接覆盖于层序 I 的 HST 之上,故本层序仍属 II 型层序。TST 由分乡组二段至四段底部开阔台地相滩间亚相灰绿色页岩和浅滩明亮晶生物屑灰岩互层组成。其中,宜昌黄花场二段为页岩与礁灰岩互层,由页岩单层向上逐渐变厚可知,其副层序呈退积型的堆积方式,其中产有广布性笔石 *Adelograptus-Kiaerograptus* 动物群及广布性造礁生物等。横向上新—黄—乌 3 处该体系域厚度变化不大,但刘家场明显变厚。

HST 由分乡组四段中上部至红花园组下部台地边缘相的亮晶砂屑灰岩及亮晶生物屑灰岩组成,偶夹页岩,其中,宜昌黄花场红花园组下部为生物礁灰岩,其副层序呈进积型堆积方式,其中产浅水浮游型头足类 *Coreanoceras-Manchuroceras* 动物群及丰富的造礁生物如 *Calathium* 和 *Archaeoscyphia* 等。由本层序 HST 的岩石结构、相类型和副层序的叠置方式等可知,HST 由平衡型碳酸盐沉积体系构成。

3)沉积动力学分析:继层序 I 的高海平面阶段之后,两河口期晚期本区发生了奥陶纪第二次海平面上升事件,该次海平面上升过程中存在着多个次一级(四级)的旋回,故在本区形成了由浅滩亚相亮晶生屑灰岩、砂屑灰岩或礁亚相与灰绿色页岩互层而构成的退积型副层序叠置体。由于该时期海平面较快速的上升,导致了部分时期碳酸盐的产率跟不上沉积物容纳空间的增长速率,故形成了碳酸盐岩与陆源泥(页)岩混合型的副层序组。其中,在宜昌黄花场由于次级旋回频繁交错,又因在次级旋回高水位期,水体循环较好,氧和光充足,导致造礁生物如 *Batostoma*、*Calathium* 及 *Archaeoscyphia* 等大量繁盛并形成障积礁,也正是由于次级海平面频繁交替,才致使本区生物礁具有厚度和规模小、数量多的特点。该次海平面上升还导致了广布性生物群落的大量出现。如 *Tritoechia-Pelmatozoans* 群落;*Batostoma* 群落;*Calathium-Archaeoscyphia* 群落;*Pelmatozoans-Batostoma* 群落;

Archaeoscyphia 群落;*Calathium-Cyanobacteria* 群落;*Acanthograptus-Dendrograptus* 群落;*Yichangopora* 群落等。

当海平面上升到达最大海泛面之后,便进入了高海平面的发展阶段,在此期间,由于容纳空间增长速率的减慢,且与碳酸盐的堆积速率近等,故在本区形成了台地边缘浅滩亚相颗粒灰岩和礁亚相为特征的加积至进积型副层序的叠置体。在高水位期间,由于容纳空间增长速率的减慢,海水循环变得良好而稳定,水体中光线和氧含量充足,生物得以大量繁盛;又因本区处于热带至亚热带地理位置,故造礁生物托盘类 *Calathium* 和海绵类 *Archaeoscyphia* 等得以在本区(黄花场)大量繁殖,并形成了障积岩隆礁。据本层序含礁地层的沉积特征和生态特征研究表明,该时期存在着 3 个次一级海平面变化旋回(四级),第一旋回发生于分乡组二段(礁段);第二旋回发生于分乡组三段(互层段);第三旋回发生于分乡组四段(夹层段)至红花园组下部。上述 3 个旋回在宜昌黄花场表现最为典型。以下分述:

(1)旋回 I:继海平面在分乡期初期到达高海平面时期并形成分乡组一段(鲕粒段)的鲕粒灰岩之后,在分乡期早期发生了含礁层系的第一次海平面上升事件,在海平面上升过程中又存在着多个次一级的升降事件,随着海平面上升到达晚期,壳类生物相 *Tritoechia-Pelmatozoan* 群落、造礁生物如 *Batostoma*、*Calathium* 等得以大量生长并组成了礁生物相和造礁群落,进而形成障积格架和礁体。当礁体生长速率与海平面上升速率近于相等时,形成平衡型碳酸盐的沉积体系。正是由于海平面不定期地处于稳定缓慢上升或相对快速上升,导致本区分乡组二段形成了多套厚度不大的礁体,并形成了造礁生物相和多个造礁群落,最终由于本区含礁层系的第二次海平面上升而结束了第一个成礁期。

在松滋刘家场地区,本次海平面变化旋回形成小型 *Batostoma* 障积礁。

(2)旋回 II:随着本区含礁层系的第二次海平面上升,结束了第一个造礁期。在海平面上升过程中存在多个次一级的海平面上升旋回。由于该时期海平面广泛上升,致使广布性的静水生物相特别是 *Acanthograptus-Dendrograptus* 群落在本区的广泛分布。在本次海平面上升过程中,可能存在风暴流的作用而形成了异地生物相 *Nanorthis-Psilocephalina* 异地埋藏群,随着海平面的上升到达晚期,本区进入了高海

平面时期,在该时期因容纳空间增长速率的减慢并趋于稳定,使得海水逐渐变浅,且循环良好,氧充足,从而形成了薄层亮晶生屑灰岩及小型 *Calathium*-*Archaeoscyphia* 障积礁,属平衡型碳酸盐沉积体系。由于本区含礁层系的第三次海平面快速上升,破坏了碳酸盐的生长环境,致使礁体不发育。这样,便结束了本区第二个海平面变化旋回。

在宜昌之南的松滋刘家场地区,本次海平面上升过程中仅存在两个次一级海平面升降旋回。由于海平面广泛上升,导致广布性生物相特别是 *Acanthograptus*-*Dendrograptus* 群落在本区出现,又因海水此时循环变得良好,光线和氧气量充足,从而致使蓝菌类生物得以大量繁殖并形成了叠层石礁。

(3)旋回 III:随着分乡组夹层段沉积初期的海平面上升,结束了本区第二个造礁期,本次海平面上升在中扬子台地具有广泛性和普遍性;其上升过程时间较短,且仅发育两个次一级的海平面升降旋回,表现为分乡组夹层段底部仅发育两层薄的页岩沉积,并与薄层生屑灰岩组成副层序叠置体,其中,生屑灰岩中,发育壳类生物相 *Tritoechia*-*Pelmatoxoa* 群落。随着短暂的海平面上升后,研究区发育为高海平面阶段,因该时期容纳空间增长速率的减慢,并与沉积物堆积速率近于相等,从而形成了平衡型亮晶砂屑或鲕粒灰岩沉积体,又因此时期海水循环变得良好而稳定,光线和氧供给充足,使得造礁生物 *Calathium* 和 *Archaeoscyphia* 以及蓝菌的大量繁殖和生长,形成了分乡组夹层段和红花园组下部礁生物相和障积岩隆礁。

1.3 层序 III

1)层位:该层序对应层位为道保湾阶下部至顶部,相当于头足类 *Clitendoceras*-*Coreanoceras* 带下部至 *Teratoceras*-*Manchuroceras* 带,包括红花园组,主体底部除外。

2)组成:本层序发育有 TST 和 HST 两个体系域,且 TST 直接覆盖于层序 II 的 HST 之上,故仍属 II 型层序。TST 由红花园组下部滩间亚相页岩、浅滩相亮晶生屑砂屑灰岩,深灰色至灰黑色厚层生物礁灰岩,并成退积至加积型的堆积方式。其中产托盘类 *Calathium*-*Archaeoscyphia* 群落、*Calathium*-*Cyanobacteria* 群落及丰富的造礁生物如海绵类 *Archaeoscyphia*、托盘类 *Calathium*、苔藓虫类 *Batostoma* 以及藻类等。

HST 由红花园组上部的台地边缘礁相礁灰岩

以及红花园组顶部的台地边缘浅滩相亮晶砂屑、生物屑灰岩组成,并呈进积型的堆积方式。其中产浅水浮游类 *Coreanoceras*-*Manchuroceras* 动物群及丰富的造礁生物如 *Calathium*、*Archaeoscyphia* 等。依本层序 HST 的岩石结构、相类型和副层序的构筑方式等可知, HST 由平衡型碳酸盐沉积体系构成。

3)沉积动力学分析:继层序 II 的高海平面阶段之后,道保湾期早期本区发生了奥陶纪的第三次海平面上升事件,该次海平面上升过程中也存在次一级(四级)的旋回,但比分乡组少。该次海平面上升在本区形成了一套滩间亚相页岩、浅滩亚相亮晶砂屑、生物屑灰岩及礁亚相灰岩等,退积至加积的副层序叠置体。该体系域下部页岩厚度和互层数具有由东南至西北逐渐减小的特征,这说明本次海侵方向与前两次相同。在短暂而快速海平面上升后,便达到高海平面阶段,在此期间,由于容纳空间增长速率的减慢,且与碳酸盐的堆积速率近等,故在本区形成了台地边缘颗粒灰岩和礁相为特征的加积至进积的副层序叠置体。在高海平面期间,由于生态环境变得良好,均发育了广布性生物,使得造礁生物如托盘类 *Calathium* 和海绵类 *Archaeoscyphia* 等得以在本区大量繁殖。并形成了障积岩隆礁。最终由于大湾期的海平面广泛上升而结束了本区最后一次造礁期。

1.4 层序 IV

1)层位:该层序对应层位为大湾阶下部和中部,相当于牙形石 *Oepikodus ovae* 带至 *B. navis*-*P. paralieius* 带,包括大湾组的一段和二段。

2)组成:本层序发育有 TST 和 HST 两个体系域,且 TST 直接覆盖于层序 III 的 HST 之上,故仍属 II 型层序。TST 由大湾组一段浅水陆棚相含海绿石生屑泥晶灰岩及泥质灰岩,黄绿色页岩以及黄灰色、灰色瘤状泥晶生物屑灰岩与页岩互层组成。并呈退积至加积型方式堆积。其中产有广布性游泳型头足类: *Bathmoceras*-*Protocydoceras*-*Dideroceras*-*Anistroceras*。TST 底部均产含量较多海绿石,表示该处存在一海水加深的界面——初始海泛面。

HST 由大湾组二段浅海陆棚相黄灰色,灰色瘤状泥晶生物屑灰岩与页岩互层组成;大湾组二段浅水陆棚相上部的紫红色或紫红色夹绿色的瘤状灰岩以及下部的生物屑灰岩组成,并呈进积至加积型方式堆积。其中产有广布性的浮游类头足类, *Chisiloceras*、*Vaginoceras*、*Pretocydoceras* 等腹足类、腕足

类等的化石,由该体系域岩石结构类型可知,应属滞后型碳酸盐体系。

3)沉积动力学分析:本区海平面在奥陶纪第三次到达高水位期之后,在大湾期早期发生了第四次海平面上升事件。该次海平面上升一直持续到大湾期大湾组的二段沉积期,在海平面上升过程中存在着多个次一级的旋回,故形成了由中厚层至薄层的瘤状灰岩或泥晶灰岩与泥页岩多个互层构成的退积型副层序叠置体。同时,由于海平面的广泛上升使得广布性游泳型头足类 *Bathmoceras-Protocyloceras* 和 *Dideroceras-Ancistroceras* 动物群在本区出现。

当海平面上升达到高海平面之后,由于容纳空间增长的速率大于碳酸盐的产率,故而形成了浅海陆棚相瘤状灰岩、泥灰岩,应属滞后型碳酸盐沉积体系。

2 海平面变化与对比

上述研究表明,研究早奥陶世含礁沉积期,海平面变化存在 4 个旋回(图 1~2),它们分别发生于两河口早期至两河口中期、两河口晚期至道保湾期早期、道保湾期早期至道保湾期晚期、大湾期早期至大湾期中期。

通过对本区早奥陶世海平面变化与华北地台、

塔里木地台^[6,7]及全球海平面变化^[8]对比研究(图 3),发现本区与塔里木地台以及全球海平面变化的曲线基本吻合,这表明中扬子台地早奥陶世海平面变化特征与塔里木地台相似,总体上还是受全球海平面变化的影响,其主要原因是奥陶纪初期的海侵具有全球性,而且幅度较大,因此,造成全球性海平面的可对比性较强。不同之处在于本区海平面变化曲线为三级,塔里木地台及全球海平面变化曲线为二级,故难以进行进一步的对比。

本区早奥陶世海平面变化与华北地台相比,差别较大,中扬子台地表现为海平面不断上升和海侵不断加大,且海平面变化主要受全球海平面变化影响和控制,而华北地台则表现为海平面不断下降和海退的过程,其海平面变化不受全球海平面变化影响,这种现象可能是由于该时期华北板块南、北两侧洋壳相向俯冲并造成华北板块不断抬升的结果^[6-9]。

参考文献(References):

- [1] 汪啸风,项礼文,倪世钊,等.长江三峡地区生物地层学(2)[A].见:早古生代分册[C].北京:地质出版社,1987.43~143.
Wang Xiaofeng,Xiang Liwen,Ni Shizhao, et al.Biostratigraphy of the Yangtze Gorge Area(2)[A].In:Late Palaeozoic Era[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.43~143(in Chinese with English abstract).
- [2] 陈旭,丘金玉.宜昌奥陶纪古环境的演变[J].地层学杂志,1986,10(1):1~4.
Chen Xu,Qiu Jinyu. Evolution of Ordovician palaeoenvironment[J]. Journal of Stratigraphy,1986,10(1): 1~4(in Chinese with English abstract).
- [3] 周名魁,王汝植,李志明,等.中国南方奥陶纪—志留纪岩相古地理与成矿作用[M].北京:地质出版社,1993.7~93.
Zhou Mingkui,Wang Ruzhi,Li Zhiming, et al.Ordovician—Silurian Lithofacies Paleogeography and Mineralization of Southern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.7~93(in Chinese with English abstract).
- [4] 朱忠德,胡明毅,肖传桃,等.鄂西南湘西北地区上震旦统至奥陶系石油地质研究[M].北京:地质出版社,1995.27~42.
Zhu Zhongde,Hu Mingyi,Xiao Chuantao, et al.Study on Oil Geology of Upper Sinian—Ordovician in Southwestern Hubei and Northeastern Huna [M]. Beijing: Geological Publishing House . 1995.27~42(in Chinese with English abstract).
- [5] 肖传桃,姜衍文,朱忠德,等.湖北宜昌地区奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论[J].高校地质学报,1996,(2):339~347.
Xiao Chuantao,Jiang Yanwen,Zhu Zhongde, et al.A study on Ordovician sequence stratigraphy in Yichang district,Hubei and sedimentary environment of the Wufeng Formation in Yangtze area [J].Geological Journal of China Universities, 1996,(2):339~347 (in

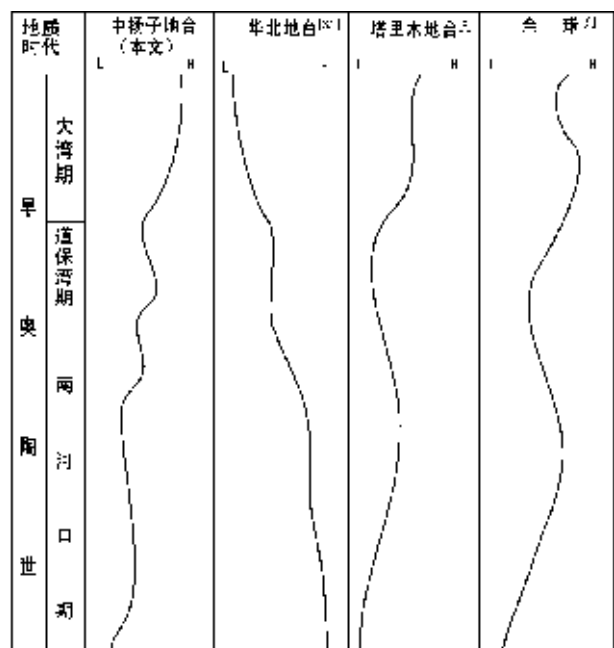


图 3 中扬子台地与邻区早奥陶世海平面变化对比图
Fig. 3 Correlation of Early Ordovician sea-level changes between the middle Yangtze platform and its adjacent area

- Chinese with English abstract).
- [6] 刘宝珺,许效松. 中国南方大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社,1993.86~109.
- Liu Baojun,Xu Xiaosong. Evolution of Sedimentary Crust and Mineralization of Southern China Continent[M]. Beijing: Science Press, 1993.86~109(in Chinese with English abstract).
- [7] 史晓颖. 35Ma——地质历史上一个重要的自然周期——自然临界的概念及其成因[J].地球科学——中国地质大学学报,1996,21(3):235~241.
- Shi Xiaoying. 35Ma——An important natural cycle in geological history——concept and its genesis of natural threshold [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1996,21(3):235~241 (in Chinese with English abstract).
- [8] 贾振远,杨家骊,李志明,等. 中国古大陆及其边缘早古生代层序地层及海平面变化[J].地球科学——中国地质大学学报,1997,22(5):544~551.
- Jia Zhenyuan,Yang Jialu,Li Zhiming, et al.Sequence stratigraphy and sea level changes on early Paleozoic paleocontinents and their margins in China[J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1997,1997,22 (5):544~551 (in Chinese with English abstract).
- [9] Ross J R P,Ross C A.Ordoevician sea-level fluctuations[A].In:Webby B D,Laurie J R(eds).Global Perspectives on Ordovician Geology[C]. Rotterdam;Balkema,1992.325~336.

Sequence stratigraphy of Lower Ordovician reef-bearing strata in the Middle Yangtze platform

XIAO Chuan-tao, ZHU Zhong-de, LI Xiang-ming

(Department of Geosciences, Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou 434102, Hubei, China)

Abstract: The Lower Ordovician reef-bearing strata in the middle Yangtze platform may be divided into four II-type depositional sequences based on the principle and method of outcrop sequence stratigraphy. According to the characteristics of the systems tracts and depositional dynamic mechanism of these sequences and the controlling effects of sea level changes on the sedimentation, organism migration, bioreefs and environment, it is held that there occurred four sea level change cycles during the formation of the reef-bearing sequences in the study area: the first one occurred from the early to middle Lianghekouan age, the second one from the late Lianghekouan age to early Daobaowanian age, the third one from the early to late Daobaowanian age, and the last one from the early to middle Dawanian age. In the second cycle three subcycles are distinguished: the first subcycle occurred in the Second Member (Oolite Member) of the Fenxiang Formation, the second one in the Third Member (Alternation Member) of the Fenxiang Formation, and the third one in the Fourth Member (Intercalation Member) of the Fenxiang Formation. Three keep-up carbonate systems and one lag carbonate depositional system are recognized. The reefs of the Fenxiang and Honghuayuan Formations formed in the highstand phase. Because of the occurrence of multiple subcycles in the process of sea level change, the reefs in the study area are characterized by the small thickness, small scale, large number and wide distribution.

Key words: sequence stratigraphy; sea-level changes; systems tract; organic reef; Ordovician; middle Yangtze area