

奥陶纪末期层序地层学研究

王传尚, 汪啸风, 陈孝红, 李志宏

(中国地质调查局地层古生物研究中心, 湖北宜昌 443003)

摘要: 为了适应高精度地层对比的需要, 特别是对相当于凝缩沉积的黑色笔石页岩相之间对比的需要, 在生物地层学研究的基础之上, 根据岩石和地球化学的综合研究, 在奥陶系/志留系界线附近共识别出3类层序界面: I型界面、II型界面和一个由 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化曲线识别出来的位于 *Tangyagraptus typicus* 亚带之底的无沉积间断的层序界面。并据此将奥陶系五峰组划分为2个三级层序。而依据 $\delta(\text{Ce})$ 的变化规律, 又可以将上述2个三级层序进一步划分为5个四级层序(Psq1—Psq5), 从而提高了地层划分对比的精度。

关键词: 奥陶系末期; 黑色页岩; 层序; 层序界面; 四级层序。

中图分类号: P534.42

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)01-0006-05

作者简介: 王传尚(1969—), 男, 助理研究员, 2001年毕业于中国地质科学院(北京), 获硕士学位, 目前主要从事笔石和早古生代地层的研究。E-mail: ycwchuanshang@cgs.gov.cn

上扬子地区奥陶系五峰组为一套黑色的泥质页岩、硅质页岩的凝缩沉积, 和普通的凝缩沉积发育于深水海盆不同, 上扬子海为一较浅水的滞留海盆, 这从苟家垭剖面干酪根有机碳 $\delta(^{13}\text{C})$ 值变化于 $-35 \times 10^{-3} \sim -26 \times 10^{-3}$ 之间及稀土元素的分布型式等方面得到证实^[1], 也为大多数学者所认同^[2,3]。关于层序地层学方面的研究, 已有不少成果^[4~6], 但与在此界线附近所开展的生物地层学研究的深度及广度相比, 还显得较为薄弱。笔者试图通过生物、岩石和地球化学等多种手段来进行层序地层学的综合分析和研究, 以提高地层划分对比的精度。

1 不同层序界面的识别

上扬子地区, 在奥陶系/志留系界线附近, 观音桥层和上覆地层之间为一层序转换面, 正确认识这一界面的性质, 必须综合考虑穿越扬子海盆的代表性剖面的实际材料, 自南而北, 从古陆边缘—台地内部—台地边缘的环境变化, 无疑会直接影响到这一时期的沉积序列。这是正确理解观音桥层的横向(古地理)和纵向(时间)变化的关键。

由于贵州沿河甘溪剖面、贵州桐梓红花园剖面、松桃陆地坪剖面毗邻滇黔古陆, 当海平面下降时, 海水率先从该区退出, 水体深度最先达到赫南特动物群生存所需要的条件, 但由于地理位置的差异, 水体深度也有差异。因此, 赫南特动物群出现的先后也有区别, 松桃陆地坪剖面, 赫南特动物群向下延至 *D. mirus* 亚带之顶^[7], 贵州沿河甘溪剖面赫南特动物群则出现于 *T. typicus* 亚带之顶^[8], 跨越了 *bohemicus* 带至 *persculptus* 带底部的一段地层。当海平面上升时, 海水最后到达古陆的边缘, 因此造成了贵州桐梓红花园剖面赫南特动物群之上笔石相沉积有所间断(图1)。在大致相当 *A. atavus* (*C. vescalosus* 带)之下和产 *Hirnantia-Kinnella* 带之间并无 *N. persculptus* 带和 *Parakidograptus acuminatus* 带笔石存在, 代之为一套厚约2m的介壳泥灰岩存在^[7]。该剖面是否为连续沉积, 这层介壳泥灰岩如何横向对比的问题是焦点所在。究竟是由于海平面上升未能达到笔石适于生存的深度还是由于沉积间断而导致笔石带的缺失, 根据目前的资料尚不能定论。如果是前者的原因, 那么, 桐梓红花园和峡东地区可能为相变关系, 这层介壳泥灰岩大致与 *N. persculptus* 带一部分、*Akidograptus aescensus* 带、*Parakidograptus acuminatus* 带一部分对比; 如果是后者的原因, 这层介壳泥岩与下伏 *Hirnantia* 层

收稿日期: 2002-04-05

基金项目: 中国地质调查局项目“中国古大陆环境变化及年代、生物、层序、事件、化学和构造地层响应”(No. 200113900072)。

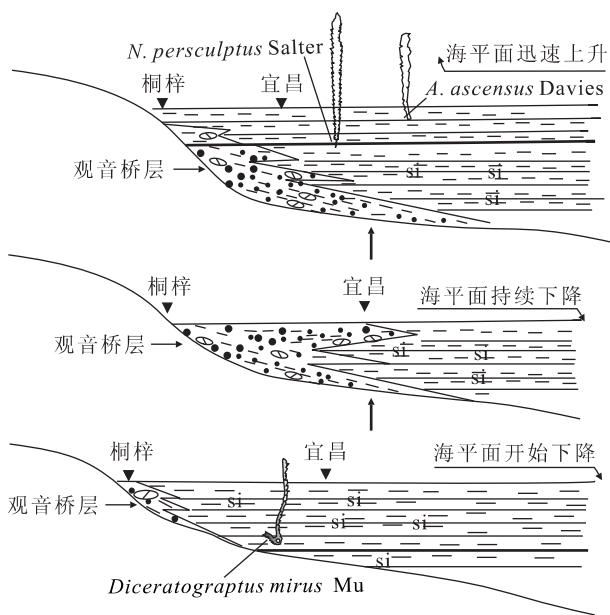


图1 海平面升降变化对观音桥层的影响

Fig. 1 Impacts of sea level changes on sedimentation of Guanyinqiao bed

一起应属奥陶纪末期的高位域沉积,其与上覆海侵所形成的 *A. atavus* 带黑色页岩之间构成了假整合面,以至缺失了相当于 *N. persculptus* 带至 *Parakidograptus acuminatus* 带的沉积,即这层介壳泥岩乃是前 *persculptus* 带的沉积,在层位上应与宜昌王家湾的观音桥层上部对比。上述2种原因,笔者等更倾向于后者(图1)。

处于扬子地台腹地的远安苟家垭剖面 and 峡东地区的分乡剖面以及黄花场剖面与王家湾剖面生物带可以精确对比,沉积特征相似,应该具有相似的沉积环境。而 *Hirnantia-Kinnella* 动物群在黔北是大致沿滇黔古陆的边缘分布的,水体相对较浅;峡东地区虽地处扬子地台腹地,也发育典型的 *Hirnantia-Kinnella* 动物群,水体深度似乎介于黔北地区和湘中地区之间,推测峡东地区在这一时期,可能有水下隆起的存在。

湘中地区的奥陶系五峰组上部往往发育不全,志留系的周家溪群底部的笔石页岩未见 *persculptus* 带、*acuminatus* 带的带化石^[9],因此,该段地层可能缺失或发育不全。和峡东及黔北等地不同的是,在周家溪群与下伏五峰组之间并无介壳相的沉积,在岩性上亦无显著的变化,从沉积特征上看,上下二者的沉积环境应该相近。长阳妈妈沟剖面龙马溪组的黑色页岩和五峰组的黑色页岩直接接触,且同样存

在笔石带缺失的现象,五峰组的 *complexus* 带直接被龙马溪组的 *leei* 带所覆盖^[10]。上述笔石带缺失的现象往往被认为是该区曾经暴露出水面而被剥蚀的结果,但从上述地区的沉积特征来看,均无沉积相的迁移或跃变,因此,上下地质体的沉积环境是相当的;从其古地理位置来看,长阳及湘中地区应较黔北地区远离滇黔古陆,水体亦相对较深,因此,难于用剥蚀的观点来解释这一时期的笔石带缺失的现象。笔者认为,由于这一地区远离古陆边缘,食物的供应受到限制,笔石动物在这一地区应并不繁盛,加之可能存在洋流的侵蚀作用,才是导致这一地区笔石带的缺失的原因。

扬子地台北缘陕西紫阳一带,由于水体相对较深,不发育介壳相的 *Hirnantia-Kinnella* 动物群,为连续的笔石相沉积^[11]。

根据以上分析,笔者等认为,五峰组顶部和龙马溪组(或相当层)底部之间存在着一个层序界面,但由于扬子地台为一缓坡浅水的滞留海盆,不具备发育 I 型层序界面的地形条件;其中,地层的缺失情况并不全是海平面下降所致,部分原因可能是洋流的侵蚀作用造成的。因此,五峰组顶部和龙马溪组(或相当层)底部之间的层序界面应为 II 型层序界面。

扬子地台五峰组与下伏地层之间的接触关系因所处地理位置的不同而有所差异,即其下伏地层之间存在着明显的相变。在峡东地区,王家湾、黄花场及分乡3条重要的 O/S 剖面上,五峰组的 *complexus* 笔石带直接覆于临湘组含三叶虫 *Nankinolithus nankinensis* 的地层之上^[10,12],而苟家垭剖面上,在 *complexus* 笔石带之下,临湘组含 *Nankinolithus nankinensis* 三叶虫带的地层之上,尚有 40 cm 厚的黄绿色页岩、黑色页岩,产少量双列笔石,该段地层在时代上可能与 *D. complantus* 带或其上部相当^[5]。在临近滇黔古陆的桐梓红花园地区和松桃陆地坪等地, *complexus* 带之下已发现 *D. complantus*^[7],但 *D. complantus* 的首现位置仍然难以确定。在湘中桃江一带,五峰组之下为“硅质页岩组”。该“硅质页岩组”中因未获化石而被推测和临湘组的沉积相当^[9];同时,“硅质页岩组”底部为一套砾岩,和下伏磨刀溪组之间为假整合接触,而与上覆五峰组为整合接触。磨刀溪组上部富含三叶虫 *Cyclopyge*,该三叶虫在峡东地区常见于宝塔组和临湘组^[10],笔者根据上述接触关系和化石特征推断,“硅质页岩组”可能与 *D. complantus* 带或其上部相当,即“硅

质页岩”应是五峰组的一部分。在鄂东南崇阳等地,五峰组笔石页岩之下,产 *Nankinolithus* 等介壳相动物的白云质灰岩地层之上,还沉积了一套石英砂岩^[13],该地区沉积物从泥质灰岩相、白云质灰岩相到石英砂岩相的演变,反映了海水逐渐变浅的过程,其间还可能存在着大气淡水的作用^[6]。

五峰组与下伏地层之间的间断面在不同地区有不同的表现,或以缺失 *complanatus* 带的沉积为特征,或以部分相变为含 *Nankinolithus* 的介壳相沉积为特征,其在地层对比中的作用是显而易见的。这个以不整合为界的界面可以进行洲际对比:在 Illinois 盆地 Ozark 山脉的 Galena 群上部、Oklahoma 南部 Arbuckle 山脉的 Welling 组之底、Nevada 的 Antelope Valley 的 Eureka 组下部都存在着地层的缺失,在 Welsh 盆地 Ashgill 阶和 Caradoc 阶之间也同样存在着一个间断面^[14]。根据上述分析,笔者认为这个间断面以广泛的地层缺失为特征,并且出现了潮道或下切谷的石英砂岩沉积(崇阳),应为 I 型层序界面。

2 层序地层的划分

$\delta(^{13}\text{C})$ 的变化是海洋生物量变化的反映,而生物量的变化和海平面的变化息息相关,因此, $\delta(^{13}\text{C})$ 也不失为衡量海平面变化的一个有效指标。王家湾剖面的有机碳 $\delta(^{13}\text{C})$ 变化曲线^[15] 在 *P. sinensis* 亚带和 *N. ojsuensis*-*N. extraordinarius* 带—*Hirnantia-Kinnella* 带各出现一个显著的峰值,指示在上述 2 个时期发生了 2 次较大规模的海退。这 2 次海退的规模不同,在生物演化上的反映也各有不同。

在三峡地区,临湘组顶部和 *complexus* 带之间的沉积物以黑色炭质页岩夹薄层硅质岩为特征,底部以黄绿色泥岩为主,鉴于在苟家垭剖面此段沉积物中夹有数层土黄色的斑脱岩,经稀土元素分析有热水活动的特征^[1],显示此次海侵事件和地壳拉张作用有关。在生物演化上,出现了 *radiolaria*, *pteropods* 和个体微小的底栖无铰纲腕足类 *Conotreta*, 该腕足动物群的生态位相当于 BA6^[16]。至 *P. sinensis* 亚带,以 *P. sinensis* 为代表的体壁退化类型的出现为特征,从 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化上可以在 *P. sinensis* 亚带之顶识别出一次海退事件(图 2),但生物群面貌上的变化并不大,这可能是由于海平面变化对生物的影响主要表现在浅水陆棚区,海退时

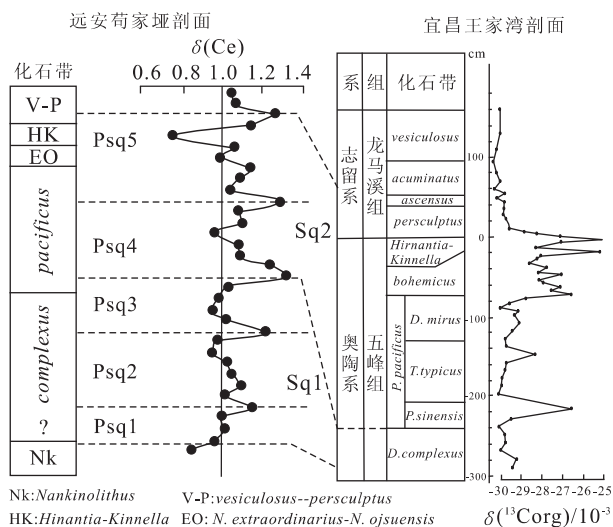


图 2 峡东地区奥陶系五峰组层序地层的划分^[15]

Fig. 2 Sequence stratigraphy classification of Wufeng Formation, east of Yangtze Gorges area
(碳同位素异常的资料据 Kun W, Charles J Orth, Moses Attrep Jr, et al. 1993)

这一区域大幅度缩减,从而大大压缩了生物的生存空间,而对于生活于较深水中的生物的影响极其有限;同时也暗示这次海退事件的规模相对较小,经历的时间也相对较短,故没有在生物群的演化上打下明显的烙印。至 *P. typicus* 亚带,以 *P. typicus* 的首现为标志,笔石体出现次分枝现象,即笔石体的复杂化事件,浮游生物空前繁荣,其丰富度和分异度均达到这一时期的最大值,这是一次十分明显的海进事件。由于受到冈瓦纳冰川作用的影响,生物群在 *P. pacificus* 带上部 *D. mirus* 亚带开始有所反映,极度繁荣的复杂化的笔石类型丰度减少以至消失,相当于 BA4—5 的 *Manosia* 群落取代了 *Conotreta*, 总体上生物的分异度和丰富度大为降低,沉积物主要为粉砂岩或粉砂质泥岩,和下部黑色泥岩相比,显示出由细到粗的加积—弱进积的沉积序列,暗示海平面开始下降。换言之,古冈瓦纳超大陆冰川作用所引起的海退事件始于 *D. mirus* 亚带之底,持续至 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带。

根据 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化曲线和生物群的演化规律综合分析,笔者认为五峰组可以划分出 2 个海平面升降变化旋回(图 2),从其时限上考虑,应该和三级海平面变化相对应,即五峰组可以划分为 2 个三级层序,下部的三级层序(sq1),其海侵域大致相当于 *complexus* 带及其下伏的 *complanatus* 带,至 *P. sinensis* 亚带则为高位域沉积;上部的三级层序

(sq2),其海侵域大致与 *T. typicus* 亚带对应,而其上的 *D. mirus* 亚带和 *N. ojsuensis*-*N. extraordinarius* 带连同 *Hirnantia*-*Kinnella* 带则相当于高位域的沉积。

这2个三级层序之间的界面是根据 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化曲线识别出来的,其间并无沉积的缺失,这是由其盆地相沉积环境所决定的。

奥陶系五峰组为一黑色笔石页岩相的浅海滞留盆地,其三级层序的岩性组合特征尚有一定的规律可循,前文已讨论了三级海平面变化对岩性组合及生物群演化产生的影响,而更精细的层序地层的划分和对比单纯依赖上述手段无疑是困难的。目前 $\delta(\text{Ce})$ 曲线已成为一种检验海平面变化的标志^[17,18],当 $\delta(\text{Ce})$ 的值增大时,指示海平面的下降;反之,当海平面上升时, $\delta(\text{Ce})$ 的值就会下降。从苟家垭 O/S 剖面 $\delta(\text{Ce})$ 曲线的变化特征可以看出,在五峰组共可识别出5次海退/海侵旋回,下部的三级层序又由3个四级层序(Psq1、Psq2、Psq3)组成,上部的三级层序则由2个四级层序(Psq4、Psq5)组成(图2)。

3 结论

本文考察了不同相区的剖面资料,以生物地层的研究为基础,结合了岩石地层的特征,特别是针对黑色笔石页岩相岩性对比的难点问题,利用稳定碳同位素、地球化学等研究手段,讨论了 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化曲线与生物演化之间的关系,并据 $\delta(^{13}\text{C})$ 的变化曲线识别出一个无沉积间断的层序界面,据此将奥陶系五峰组划分为2个三级层序。而由 $\delta(\text{Ce})$ 的变化规律,又进一步将上述2个三级层序划分为5个四级层序(Psq1—Psq5),从而提高了地层划分对比的精度。

参考文献:

- [1] 王传尚,陈孝红,汪啸风. 地球化学异常与奥陶系/志留系之交环境变迁[J]. 地层学杂志,2002,(待刊).
WANG C S, CHEN X H, WANG X F. Chemical anomaly and the global environment changes across the Ordovician/Silurian boundary interval [J]. Journal of Stratigraphy, 2002, (in press).
- [2] 陈旭,肖承协,陈洪治. 华南五峰期笔石动物群的分异及缺氧环境[J]. 古生物学报,1987, 26(3): 326—344.
CHEN X, XIAO C X, CHEN H Z. Wufengian (Ashgillian) graptolite faunal differentiation and anoxic environment in South China [J]. Acta Palaeontologica Sini-

ca, 1987, 26(3): 326—344.

- [3] 成汉钧,王玉忠. 五峰期上扬子淡化海成因之探讨[J]. 地层学杂志,1991, 15(2): 109—114.
CHENG H J, WANG Y Z. A discussion on the genesis of the Wufengian desalinated sea in the Upper Yangtze sea [J]. Journal of Stratigraphy, 1991, 15(2): 109—114.
- [4] 陈孝红,汪啸风. 长江三峡地区早古生代多重地层划分与海平面升降事件[J]. 华南地质与矿产,1999, (3): 1—11.
CHEN X H, WANG X F. Multiple stratigraphic subdivision and sea level changes of the Early Paleozoic in Yangtze Gorges area [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1993, (3): 1—11.
- [5] 汪啸风,Ertdtmann B-D,陈孝红. “赫南特阶”和奥陶系—志留系界线的厘定[J]. 华南地质与矿产. 1999, (3): 12—18.
WANG X F, Ertdtmann B-D, CHEN X H. The “Hirnantian Stage” and the identification of the Ordovician/Silurian boundary [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1999, (3): 12—18.
- [6] 苏文博. 从层序地层学的观点论奥陶—志留系界线划分[J]. 华南地质与矿产,1999, (1): 1—11.
SU W B. On the Ordovician-Silurian boundary at the viewpoint of sequence stratigraphy [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1999, (1): 1—11.
- [7] 陈旭,戎嘉余,樊隽轩,等. 奥陶—志留系界线地层生物带的全球对比[J]. 古生物学报,2000, 39(1): 100—114.
CHEN X, RONG J Y, FAN J X, et al. A global correlation of biozones across the Ordovician-Silurian boundary [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2000, 39(1): 100—114.
- [8] 穆恩之,李积金,葛梅钰,等. 华中区上奥陶统笔石[A]. 中国古生物志[C]. 1993, 总号第182册,新乙中第29号:1—393.
MU E Z, LI J J, GE M Y, et al. Upper Ordovician graptolites of central China region [A]. Palaeontologia Sinica [C]. 1993, Whole Number 182, New Series B, No. 29: 1—393.
- [9] 徐熊飞. 湘中北部的奥陶系[J]. 地层学杂志,1981, 5(2): 106—116.
XU X F. The Ordovician system of central northern Hunan [J]. Journal of Stratigraphy, 1981, 5(2): 106—116.
- [10] 汪啸风,倪世钊,曾庆奎,等. 长江三峡地区生物地层学(2)早古生代分册[M]. 北京:地质出版社,1987, 43—

- 142.
- WANG X F, NI S Z, ZENG Q L, et al. Biostratigraphy of the Yangtze Gorges area (2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987, 43—142.
- [11] 傅力浦, 宋礼生. 陕西紫阳地区(过渡带)志留纪地层及古生物[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1986, 第 14 号: 1—190.
- FU L P, SONG L S. Stratigraphy and paleontology of Silurian in Ziyang region (transitional belt) [J]. Bull Xi'an Inst Geol Min Res, Chinese Acad Geol Sci, 1986, (14): 1—190.
- [12] 汪啸风, 曾庆奎, 周天梅, 等. 长江三峡东部地区奥陶纪晚期与志留纪初期的化石群兼论奥陶系与志留系的界线问题[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1983, (6): 95—163.
- WANG X F, ZENG Q L, ZHOU T M, et al. Latest Ordovician and Earliest Silurian faunas from the eastern Yangtze Gorges, China with comments on Ordovician-Silurian boundary [J]. Bull Yichang Inst Geol Mineral Resources, Chinese Acad Geol Sci, 1983, (6): 95—163.
- [13] 刘永耀, 孙振华, 杨小铭. 鄂东南过渡类型的寒武奥陶纪地层[J]. 地层学杂志, 1984, 8(2): 94—106.
- LIU Y Y, SUN Z H, YANG X M. Transitional types of the Cambrian and Ordovician systems in southeastern Hubei [J]. Journal of Stratigraphy, 1984, 8(2): 94—106.
- [14] Ross J R P. Ordovician sea-level fluctuations [A]. In: Webby B D, Laurie J R, eds. Global perspectives on Ordovician geology [C]. Rotterdam: Balkema, 1992. 327—335.
- [15] Wang K, Orth C J, Moses A J, et al. The great latest Ordovician extinction on the South China plate: chemostratigraphic studies of the Ordovician-Silurian boundary interval on the Yangtze platform [A]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology [C]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V, 1993. 104: 61—79.
- [16] 曾庆奎. 峡东地区奥陶纪腕足类群落与海平面升降变化[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1991, (16): 19—39.
- ZENG Q L. Ordovician brachiopod communities and eustatic changes of sea level in the eastern Yangtze Gorges area, China [J]. Bull Yichang Inst Geol Mineral Resources, Chinese Acad Geol Sci, 1991, (16): 19—39.
- [17] 冯洪真, Erdtmann B D, 王海峰. 上扬子区早古生代全岩 Ce 异常与海平面长缓变化[J]. 中国科学(D 辑), 2000, 30(1): 66—72.
- FENG H Z, Erdtmann B D, WANG H F. Early Paleozoic whole-rock Ce anomalies and secular eustatic changes in the Upper Yangtze region [J]. Science in China (Series D), 2000, 43(3): 328—336.
- [18] Wang X F, Erdtmann B-D, Chen X H, et al. Integrated sequence- bio- and chemo-stratigraphy of the terminal Proterozoic to lowermost Cambrian “black rock series” from central South China [J]. Episodes, 1998, 21(3): 178—189.

Study of Sequence Stratigraphy at Terminal of Ordovician

WANG Chuan-shang, WANG Xiao-feng, CHEN Xiao-hong, LI Zhi-hong
(Center for Stratigraphy and Paleontology, CGS, Yichang 443003, China)

Abstract: In order to meet the need of high-precision stratigraphic correlation, especially of the correlation of condense deposits-the black graptolitic shale, three types of sequence boundary are recognized based on integrated studied of bio-, litho- and chemo-Stratigraphy, i. e., the I type, II type sequence boundaries and a special one in continuous deposits at the base of *Tangyagraptus typicus* sub-zone marked by $\delta(^{13}\text{C})$ anomaly, which divided the Wufeng Formation. into two sequences—sq1 and sq2. The sq1 are formed by 3 parasequences, namely Psq1, Psq2 and Psq3, and the sq2 by another 2 parasequences, Psq4 and Psq5 based on the study of $\delta(\text{Ce})$ anomaly. Consequently the precision of stratigraphic subdivision and correlation is improved.

Key words: terminal of Ordovician; black shale; sequence; sequence boundary; parasequence.