

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

鄂湘桂地区栖霞组古氧相分析与层序地层和海平面变化

颜佳新 陈北岳 李思田 刘本培

(中国地质大学, 武汉)

内容提要 鄂湘桂地区, 早二叠世栖霞组主要为贫氧沉积。通过恢复其形成时沉积环境水体中溶氧量特征及其变化, 识别出6个古氧相和4种古氧相相序。古氧相类型、古氧相相序及相差分别反映了沉积环境海平面变化的相位、速度和幅度。古氧相分析从成因上刻画了地层层序的内部结构, 成为本区栖霞组内关键性界面、副层序、体系域及层序识别和确定的基础。在对岩相组合单调、空间上岩相厚度变化不大, 同时具缺氧成因特征的地层进行层序地层分析时, 具重要的指导作用。

关键词 下二叠统 栖霞组 贫氧沉积 古氧相 层序地层 鄂湘桂地区

在一些岩性单调、岩相厚度变化不大、物理标志和物理界面不清楚的碳酸盐地层中, 传统层序地层学方法受到很大限制^[1,2]。其层序的识别和深入分析成为人们关注的焦点之一^[2,3]。笔者通过近两年对鄂、湘和桂中栖霞组的层序地层工作认识到, 对具缺氧沉积环境成因的类似地层, 古氧相分析能有效地进行层序及其内部组构的识别。本文以鄂湘桂地区栖霞组为例, 讨论古氧相分析及其在层序地层和海平面变化分析中的应用。

1 栖霞组古氧相

古氧相包括所有能反映地层沉积形成时沉积环境水体中, 特别是底层水体中溶氧量特征的各种沉积、生物特征, 为沉积相的重要组成部分。通过与现代沉积物类比研究, 可以细分为: 富氧相(aerobic facies), 沉积环境水体中溶氧量大于1mL/L, 最大可达6—8mL/L, 底栖生物繁盛, 沉积物内生物扰动强烈, 无层理保留; 厌氧相(anaerobic facies), 沉积环境水体中溶氧量低于0.1mL/L, 无大的钙质壳底栖生物发育, 沉积物内无生物扰动, 层理保存完好; 贫氧相(dysaerobic facies), 沉积环境水体中溶氧量介于0.1—1mL/L之间, 生物特征及沉积构造特征亦介于厌氧相和富氧相之间^[4-10], 且常可根据生物生态特征及沉积构造保存程度进一步细分出若干亚相。本文为方便起见, 各亚相皆升为相。贫氧相和厌氧相有时统称为缺氧相(oxygen deficient facies)^[11]。

近年来华南栖霞组缺氧沉积环境成因已普遍为人们所接受^[11-13]。据笔者对湖北、湖南、贵

注: 本文由国家基础性重大关键项目“中国古大陆及其边缘层序地层和海平面变化研究(SSLIC)”及博士生导师基金项目联合资助。参加野外工作的还有陈 晔、季惠彬。

本文1995年4月收到, 1996年6月改回。萧品芳编辑。

州、广西和安徽等地十余条栖霞组实测地层剖面的沉积学和古生态学研究,在其中共识别出6个古氧相(图1)。

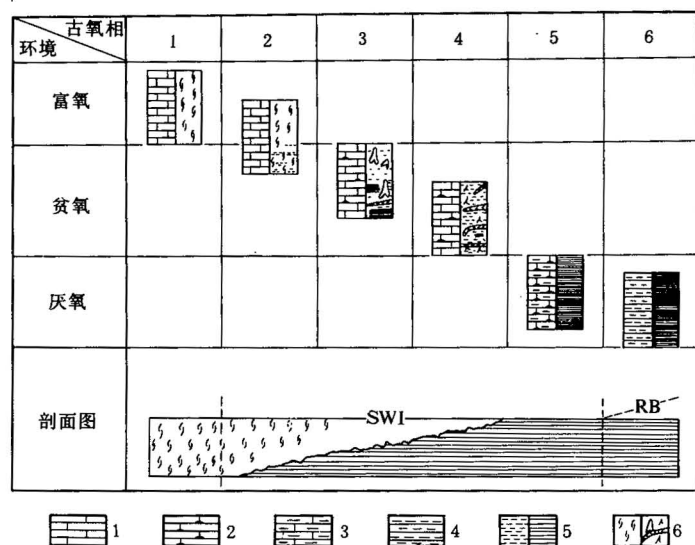


图1 鄂湘桂地区栖霞组中古氧相类型

Fig. 1 Types of oxygen-related depositional facies in the Qixia Formation

1—灰岩、生屑灰岩;2—燧石结核灰岩;3—含炭质、泥质灰岩;4—黑色含炭质的泥灰岩;5—隐约层纹、水平层理;6—生物扰动、遗迹化石;RB—氧化还原界面;SWI—沉积物-水界面

1—Bioclastic limestone;2—limestone with chert nodule;3—black marly limestone with rich organic matter;4—black calcareous shale with rich organic matter;5—faint lamination, lamination;6—bioturbated structure, ichnofossil;RB—redox boundary;SWI—sediment-water interface

Zoophycos 丰富,有时可发育 *Chondrites*。

相5:灰黑色至黑色含泥质细生物屑灰岩。水平层纹极为发育,介壳碎屑平行层面排列。生物碎屑以介形虫、透镜状小有孔虫为主,其次为腕足类碎片、腕足类刺、三叶虫碎片等。海绵或苔藓虫、海百合茎和小腕足类可在某些层面上富集。岩石中沥青质含量高。燧石为长透镜形或侧向相连成层。

相6:黑色薄层状含炭质、泥质灰岩夹灰岩透镜体。有机质丰富,发育星散状黄铁矿或其结核。生屑少,偶尔可见到苔藓虫或海绵化石或小的戟贝类化石。

沉积环境水体中溶氧量从相1至相6依次降低,其中相1属富氧相,相2,3,4为贫氧相,相5和相6属厌氧相(图1)。

2 古氧相与海平面变化

海平面变化存在着相位、频幅和速度的差别,常可通过沉积相的堆叠型式、沉积相的跳跃

相1:灰色、灰黑色生物碎屑灰岩,常为生屑粒泥岩和生屑泥粒岩。生物发育,分异度高,往往以藻类繁盛为特征。生物颗粒较破碎,生物扰动强烈,层理不显,有时岩石表面呈现颜色深浅不一的斑块。

相2:岩性与相1大体类似,生物以介壳碎屑和有孔虫为主,藻屑较少,层理不清楚。但生物碎屑垂向上分布不均匀,显示出层理方向,偶尔可见模糊层理。

相3:灰黑色灰泥岩、粒泥岩。生屑较少,大多保存完整,藻屑极少。具少量形态不规则、横向上互不相连的燧石结核、发育遗迹化石 *Thalassinoides* 和 *Planolites* 及浅的垂直层面潜穴。有时可具 *Zoophycos*。部份层理得以保留。

相4:灰黑色灰泥岩为主。岩石中有机质含量较高,生屑少。发育连续但较细弱的水平层理,含少量燧石。遗迹化石

幅度和速度加以区别^[14]。对岩性组合较为单调、岩相变化不明显而沉积环境水体中溶氧量发生明显改变的栖霞期地层而言,古氧相对海平面变化的相位、频幅和速度的恢复更为理想。沉积环境水柱中溶氧量消耗大于补给时,就可形成缺氧现象^[10]。本区栖霞期除广西局部地区外,颗粒岩等高能沉积不发育,整体为一低能环境^①。当海平面由低变高水深加大时,底层水体中溶氧量的补充受到抑制,沉积物柱内氧化还原界面(RB)相对于沉积物—水界面(SWI)上移(图1),地层中出现缺氧相序,反之则出现充氧相序^[3]。因此古氧相类型及相序可反映海平面变化相位。根据相序发育特征及其保存程度,古氧相相序可分为如下4种^[8,9](图2):

快速充氧相序(ROS) 从下往上出现相6至相1的古氧相变化,可分为底部水平层理段、中部遗迹化石和水平层纹(理)共存段和顶部生物扰动段(图版 I-1)。常发育分异度低的生物层,生屑常在生物扰动段底部富集。如果充氧事件发生于厌氧背景中,则往往形成适应低氧环境的先驱种和机会种的繁盛(图版 I-5)。如果充氧事件发生于贫氧带中,则可出现反映富氧沉积环境的低分异度生物层。

逐渐充氧相序(GOS) 发育完整时,从下往上出现古氧相6至1的层层叠置,但一般保存不完整。下部发育细弱层纹,中部发育 *Zoophycos* 等遗迹化石,可被延伸较深的潜穴所切割,顶部为生物扰动层,生物种类较多(图版 I-2)。

快速缺氧相序(RDS) 下部较好地记录了沉积物柱内容氧梯度分带的特点,即从下往上溶氧逐渐增高直至出现生物扰动层,与上覆黑色层纹状沉积物间界面清楚,反映迅速的溶氧量下降(图版 I-3)。

逐渐缺氧相序(GDS) 从下往上层理逐渐清晰,遗迹由 *Thalssionoides* 逐渐被 *Zoophycos* 和 *Chondrites* 代替直至出现纹层状沉积物(图版 I-8)。

上述几种古氧相相序是海平面变化相位和速度的反映。顶底单元的古氧相相序差基本上反映了海面波动的幅度(亦部分与沉积背景有关)。此外,地层中亦可出现溶氧量变化不大的相序,即稳定缺氧相序(SDS)和稳定富氧相序(SOS)。在 SDS 中,溶氧量的差异可形成不同的沉积特征(图版 I-4,6,7,图2),甚至可因强烈的生物扰动而使层理完全遭受破坏。

3 古氧相分析与层序地层

古氧相与海面变化的密切联系使其成为本区栖霞组层序地层分析的关键。古氧相类型的确定、相序及其保存特征在关键性界面、副层序和体系域的认识中具有重要意义。

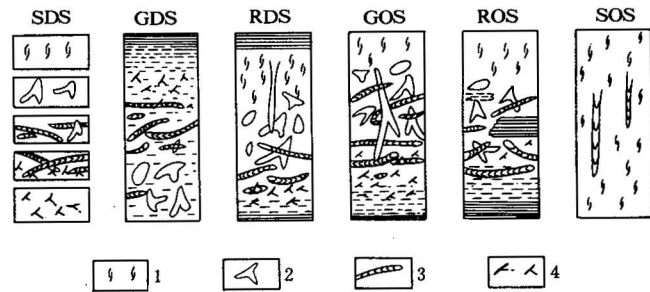


图2 栖霞组中古氧相相序类型(说明见正文)

Fig. 2 Types of oxygen-related depositional facies successions in the Qixia Formation (see text for details)

1—生物扰动(bioturbated structure); 2—*Thalassionoides*;
3—*Zoophycos*; 4—*Chondrites*

① 颜佳新,杜远生. 水川发育对赤道地区碳酸盐沉积环境和沉积作用的影响. 地质科技情报, 1994, 13(3): 48-56.

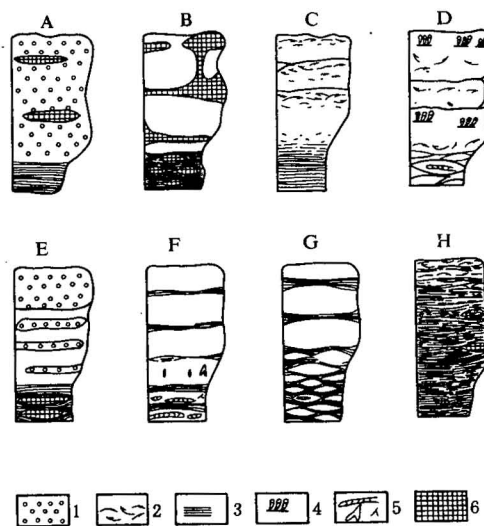


图3 栖霞组中常见副层序类型
Fig. 3 Common parasequences in the Qixia Formation

- 1—生物碎屑颗粒岩; 2—生物碎屑; 3—水平层理(纹);
4—群体珊瑚; 5—遗迹化石; 6—燧石
1—Bioclastic grainstone; 2—shell lag; 3—lamination;
4—colony corals; 5—ichnofossils; 6—chert nodule

一般每个副层序下部为缺氧沉积,上部为富氧沉积(或为缺氧沉积,但缺氧程度稍弱),厚度为1m左右,个别达2—3m。由于所处古地理位置及其所处三级海平面变化相位的不同,高频(五级)海面升降所产生的缺氧、充氧事件影响效果亦不相同,使得副层序的岩石表现形式也不相同(图3)。

表1 栖霞组贫氧沉积与层序地层

Table 1 Sequence stratigraphic features based on analysis of oxygen-related facies in the Qixia Formation

体系域	沉积环境	氧变化幅度	副层序构成	特征
TST	贫氧	大—中等	逐渐充氧 → 稳定贫氧 快速缺氧 → 快速缺氧	贫氧沉积由发育差厚度薄到发育好厚度增大,缺氧程度加剧,反映退积特点,灰岩多呈透镜状
CS	贫氧至厌氧		贫氧或厌氧	海泛面上下常发育遗迹 <i>Chondrites</i> 和 <i>Zoophycos</i> , 短期快速充氧可形成机会种生物层
EHST	贫氧	中等	逐渐充氧 逐渐缺氧	贫氧沉积逐渐被富氧沉积取代,反映进积特征,燧石结核发育
LHST	(贫氧至)富氧	小	快速充氧 → 持续富氧 逐渐缺氧	基本上为富氧沉积,偶夹贫氧沉积,层厚为厚至巨厚层,大化石发育,有时有白云岩化

3.1 关键性界面

暴露面 水上暴露面发育于富氧相之顶,是重要的层序界面标志。虽然在高位域背景下副层序组的顶部亦可出现暴露面,但高位域期间的进积一般都发育于弱贫氧至富氧的沉积背景下,其顶部暴露面上下之古氧相相差,比作为层序界面的暴露面附近的相差小。

初始海侵面 在本区初始海侵面之上沉积物缺氧特征明显,并伴随有侵蚀,形成不同生境化石的混生,导致混合化石群或异地化石群覆于富氧沉积——暴露面之上。

最大海泛面 最大海泛面是区分海进域和高位域的重要界面,对应三级层序中缺氧最为明显时期。在厌氧沉积背景下往往为含炭质、泥质灰岩,缺乏大的生物化石,无遗迹发育。在贫氧沉积背景下遗迹化石保存极好。此外常形成低分异度的原地生活生物层,反映适应低氧沉积环境的机会种的繁盛,易于与侵蚀面附近混生生物层相区分。

3.2 副层序

在本区栖霞组中,通过古氧相类型的确定,使得向上变浅的副层序单元更易识别。每个副层序正好对应一次由缺氧至充氧的环境变化过程。一

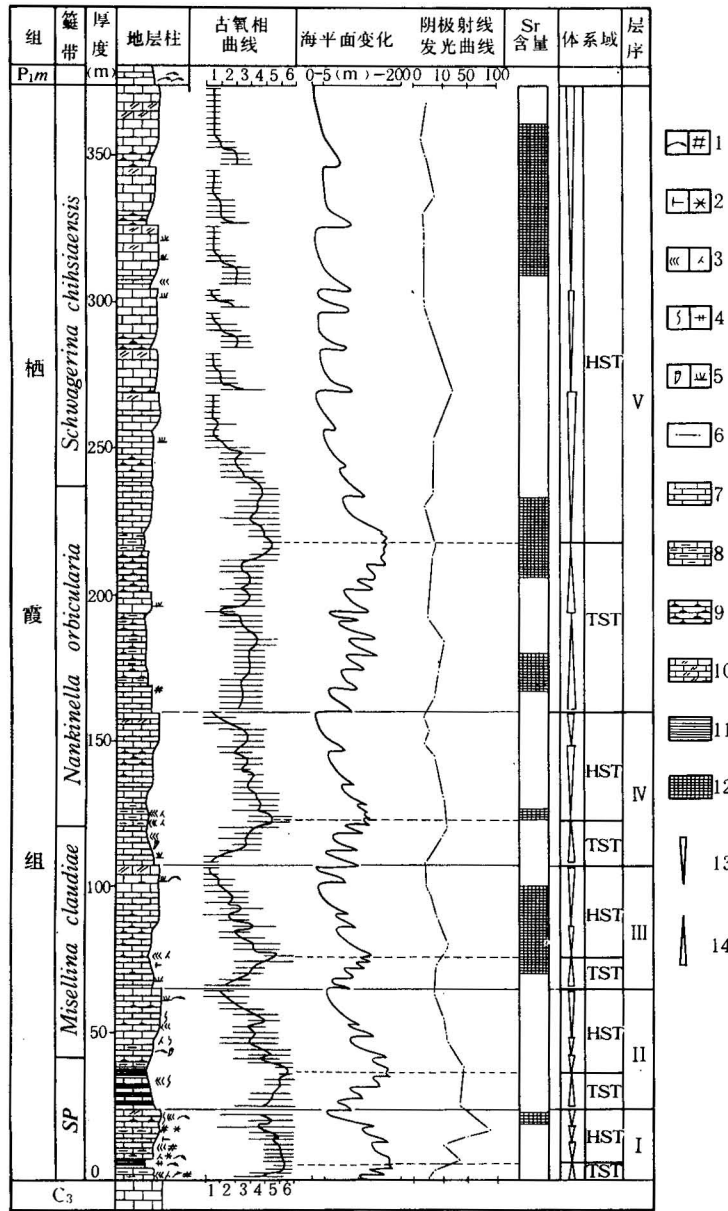


图4 广西来宾铁桥剖面栖霞组沉积环境、古氧相、海平面变化与层序地层柱状图

Fig. 4 Depositional environments, oxygen-related facies, sea-level changes and sequence stratigraphy in the Qixia Formation at the Tieqiao section of Laibin, Guangxi

1—腕足类、苔鲜虫; 2—海绵、海百合茎; 3—*Zoophycos*, *Chondrites*; 4—*Thalassinoides*, *Planolites*, 黄铁矿结核; 5—单体珊瑚、群体珊瑚; 6—副层序内氧含量波动幅度; 7—灰岩; 8—含炭质、泥质灰岩; 9—燧石结核灰岩; 10—具白云岩化斑块灰岩; 11—页岩; 12—Sr含量大于 1500×10^{-6} 段; 13—进积副层序组; 14—退积副层序组; SP—*Staffella-Pseudofusulina* (Sr含量及阴极发光曲线资料据沙庆安等, 1990)

1—Brachiopods, bryozoan; 2—sponge, crinoides; 3—*Zoophycos*, *Chondrites*; 4—*Thalassinoides*, *Planolites*; pyrites nodule; 5—solitary coral, colony rugosa coral; 6—amplitude of ORF shift in parasequence; 7—limestone; 8—marly limestone with rich organic matter; 9—limestone with chert nodule; 10—limestone with patch of dolomitization; 11—shale; 12—interval of Sr content exceeds 1500×10^{-6} ; 13—progradational parasequence set; 14—retrogradational parasequence set (data of Sr content and cathodoluminescence after Sha et al, 1990)

3.3 沉积体系域

由于低位域(LST)和陆架边缘体系域(SMST)分别发育于斜坡脚和陆架边缘,因此在陆架内仅发育海侵域(TST)和高位域(HST)。海面变化背景的差别使得TST和HST(分早期高位域EHST和晚期高位域LHST)内副层序在岩石面貌、古氧相类型、相序、相差和副层序构成上均存在明显差别(表1)。图3中副层序类型A,B,C和D主要发育于HST,而E,F,G和H则主要发育于TST。

4 讨论和结论

Creaney 和 Passey^[15]曾采用地层中有机碳总量(TOC)测定的方法,对缺氧背景下形成的地层进行层序分析,取得良好的效果。但与之相比,古氧相分析则更为直观和经济,便于野外现场操作。在本区栖霞组十余条实测剖面中,利用古氧相分析进行层序地层与利用其它沉积特征,如生物生态特征、成岩特征及地球化学特征研究所得的结论极为吻合(图4),且古氧相层序分析具广泛的可对比性^[16]。

本区栖霞期古氧相类型、相序特征及古氧相跃迁幅度分别反映了海平面变化的相位、速度和幅度,在关键性界面、副层序、体系域及层序的识别和确定中发挥了重要作用。由于碳酸盐岩的形成与水质的关系极为密切,因此对缺氧沉积环境成因的碳酸盐岩地层,古氧相分析不仅便于岩石的宏观描述,也从成因上刻画了层序地层及其内部组构特征,具广泛的应用价值。

参 考 文 献

- 1 Burchette T P, Wright W P. Carbonate ramp depositional system. *Sedimentary Geology*, 1992, 79: 2—57.
- 2 Goldhammer R K, Lehmann P J, Dunn P A. The origin of high-frequency platform carbonate cycles and third-order sequence (Lower Ordovician El Paso GP, West Texas): constraints from outcrop data and stratigraphic modelling. *Jour. of Sedimentary Petrology*, 1993, 63(3): 318—359.
- 3 颜佳新,方念乔. 湖北省栖霞组沉积环境、沉积旋回及层序地层划分. *地球科学*, 1994, 19(5): 620—626.
- 4 Rhoads D C, Morse J W. Evolutionary and ecological significance of oxygen-deficient marine basin. *Lethaia*, 1971, 4: 413—428.
- 5 Byers C W. Biofacies patterns in euxinic basin: a general model. In: Cook H E, Enos P. eds. *Deep-water carbonate environments*. SEPM Special Publ., 1977, 25: 5—17.
- 6 Demaison G J, Moore G T. Anoxic environments and oil source bed genesis. *AAPG Bull.*, 1980, 64(8): 1179—1209.
- 7 Thompson J B, Millins H T, Henry J et al. Alternative biofacies model for dysaerobic communities. *Lethaia*, 1985, 18: 167—179.
- 8 Savrda C E and Bottjer D J. Trace-fossil model for reconstruction of paleo-oxygenation in bottom waters. *Geology*, 1986, 14(1): 3—6.
- 9 Savrda C E, Bottjer D J, Seilacher A. Redox-related benthic events. In: Einsele G, Seilacher A. eds. *Cycles and Events in Stratigraphy*. Berlin, Springer-Verlag, 1991, 524—541.
- 10 Sageman B B, Wignall B B, Kauffman E G. Biofacies models for oxygen-deficient facies in epicontinental seas: tools for paleoenvironmental analysis. *ibid.*, 1991, 542—564.
- 11 吴胜和,冯增昭,何幼斌. 中下扬子地区二叠纪缺氧环境研究. *沉积学报*, 1994, 12(2): 29—35.
- 12 吕炳全,瞿建军. 下扬子地区早二叠世海进和上升流形成的缺氧环境沉积. *科学通报*, 1989, 34(22): 1721—1724.
- 13 Hiroyoshi Sano, Jiang Nayan. Early Permian carbonate sedimentation in South China. Abstracts-29th. Intern. Geol. Congr., Kyoto, 1992, 2(3): 288.
- 14 龚一鸣,吴治,杜远生. 黔桂泥盆纪层序及海平面变化的频幅速度和相位. *地球科学*, 1994, 19(5): 575—586.
- 15 Creaney S, Passey Q R. Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphy framework. *AAPG Bull.*, 1993, 77(3): 386—401.
- 16 de Graciansky P C. Sequence stratigraphic signature of global anoxic events in intracratonic basins. Abstracts-29th. Intern. Geol. Congr., Kyoto, 1992, 2(3): 370.

图 版 说 明

1. 快速充氧沉积,纹层可部分保存;湖北黄石。

2. 逐渐充氧沉积,中部为 *Thalassinoides*,上部为生物扰动层;广西来宾。
3. 快速缺氧沉积,生物扰动层与上覆厌氧沉积(页岩)界线清晰;湖北黄石。
4. *Zoophycos*,广西来宾。
5. 在厌氧背景下充氧时出现的腕足类、海百合茎和苔藓虫生物集群;广西来宾。
6. 稳定贫氧沉积,*Thalassinoides*;广西来宾。
7. 稳定贫氧沉积,*Chondrites*;广西来宾。
8. 逐渐缺氧沉积,下部 *Thalassinoides*,上部 *Zoophycos*;湖北巴东。

OXYGEN-RELATED FACIES AND SEQUENCE STRATIGRAPHY IN THE QIXIA FORMATION OF THE HUBEI- HUNAN - GUANGXI REGION

Yan Jiaxin, Chen Beiyue, Li Sitian and Liu Benpei

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract

The Early Permian Qixia Formation in the Hubei-Hunan-Guangxi region was mainly formed in a dysaerobic environment. Through reconstructing the feature of the oxygen-dissolved quantity and its change in waters during its deposition, 6 oxygen related facies (ORF) and 4 ORF successions have been recognized in the formation. The ORF, ORF succession and span of ORF shift have respectively shed light on the phase, velocity and amplitude of the sea-level changes, and played a crucial role in the recognition of the key surface, parasequence, depositional systems tract and depositional sequence. As genetically analyzing the internal architecture of the depositional sequence, the ORF analysis is important for the analysis of the sequence stratigraphy of dysaerobic strata with a monotonous facies association and showing no significant variation in facies thickness.

Key words: Qixia Formation (P_1), oxygen-deficient deposits, oxygen-related facies (ORF), sequence stratigraphy, Hubei-Hunan-Guangxi region

作者简介

颜佳新,男,1962年生。1983年毕业于武汉地质学院地质系,1989年在中国地质大学获硕士学位。现任中国地质大学地球科学学院讲师。通讯处:湖北省武汉市喻家山中国地质大学(武汉)地史古生物教研室,邮政编码:430074。

