

关于巢北地区中下志留统沉积环境的再认识

李 浩^{1,2} 王冠民³ 高 亮³

(1. 中国石油大学, 北京 102249; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 本文围绕着巢北地区中下志留统的岩性、沉积构造、生物化石、地层旋回以及大地构造特征等五方面, 结合国内外前人研究成果, 对巢北地区中下志留统“等深积岩”的沉积特征进行了详细的论述。通过反证与新近发现的大量新证据, 得出了与前人不同的认识——巢北中下志留统是与潮汐作用有关的浅海陆棚沉积, 而不是早期认为的半深海等深流沉积。这一结论将有助于统一巢北地区早古生代的古地理格局, 进一步理清对该区志留纪大地构造背景和构造沉积演化的认识。

关键词: 中下志留统; 等深积岩; 内潮汐; 陆棚; 巢北地区

中图分类号: P736.21⁺³ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)06-1419-06

在安徽巢北地区中下志留统高家边组 (S_{2g}) 中下部的暗色泥页岩中, 常发育一些条带状的粉细砂岩薄层。对于这些薄层粉细砂岩, 一些学者的早期研究认为属于半深海环境下的等深流沉积^[1], 该观点也常被各种文献引用^[2-3]。通过多年野外观察和分析, 尤其是近年来随着公路拓宽, 新的现象不断出现, 笔者认为该套地层中的薄层粉细砂岩应该属于与潮汐作用有关的陆棚沉积, 而不是半深海等深流沉积。

1 巢北地区中下志留统的地层概况

巢北地区的志留统地层总厚度在 600 m 以上, 发育有下统高家边组 (S_{2g}) 和中统坟头组 (S_{2f})。中下志留统下部直接与上奥陶统五峰组平行不整合接触 (图 1), 上部与上泥盆统五通组 (D_{3w}) 平行不整合接触。

高家边组 (S_{2g}) 底部为厚约 1 cm 的早期风化壳沉积; 下段主要为厚约 21 m 的灰白、灰紫、紫红色薄层含硅质条带泥页岩, 富含笔石; 向上为灰黄、土黄色薄层泥岩夹砂质泥岩、粉砂岩、页岩, 厚约 83 m (图 1)。中段为黄绿、青灰、灰黑色页岩、含粉砂质泥岩夹薄层粉细砂岩, 厚度大于 138 m, 含中华棘鱼、

锯笔石及三叶虫、腕足、腹足、双壳类等化石。上段以黄绿、棕黄色泥页岩、石英砂岩为主, 厚约 100 m, 化石较少。

坟头组 (S_{2f}) 下段为黄绿色中厚层石英细砂岩、泥质细砂岩夹粉砂质泥岩。上段为黄绿色薄至中厚层泥质细砂岩, 具虫迹, 含王冠虫及腕足类、鱼类化石, 总厚约 250 m。

2 高家边组薄层碎屑岩、生屑灰岩的沉积特征

2.1 岩石成分和结构特征

目前, 在高家边组中下部所发现的薄夹层碎屑岩主要为绿灰色粉砂岩、灰色细砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩, 此外还有薄层或透镜状硅质海百合生屑灰岩等。

高家边组中的薄层粉细砂岩分选一般不好, 成分成熟度也明显偏低, 几乎都是杂基填隙。在细砂岩中存在大量的泥质岩屑, 其含量甚至可占颗粒的 30%^[1], 由于颗粒偏细, 这些泥质岩屑大多保持有较好的颗粒形态, 只有极少数表现为假杂基, 甚至在一些粉砂岩的底部明显发育一些毫米级的泥砾。这都

收稿日期: 2009-04-05; 改回日期: 2009-06-27

作者简介: 李浩, 男, 1966 年生, 博士, 研究方向为石油地质学; E-mail: wguanmin@sina.com。

①戴俊生, 姜在兴, 宋裕发. 安徽巢北综合地质实习指导书. 石油大学(华东)勘探系。

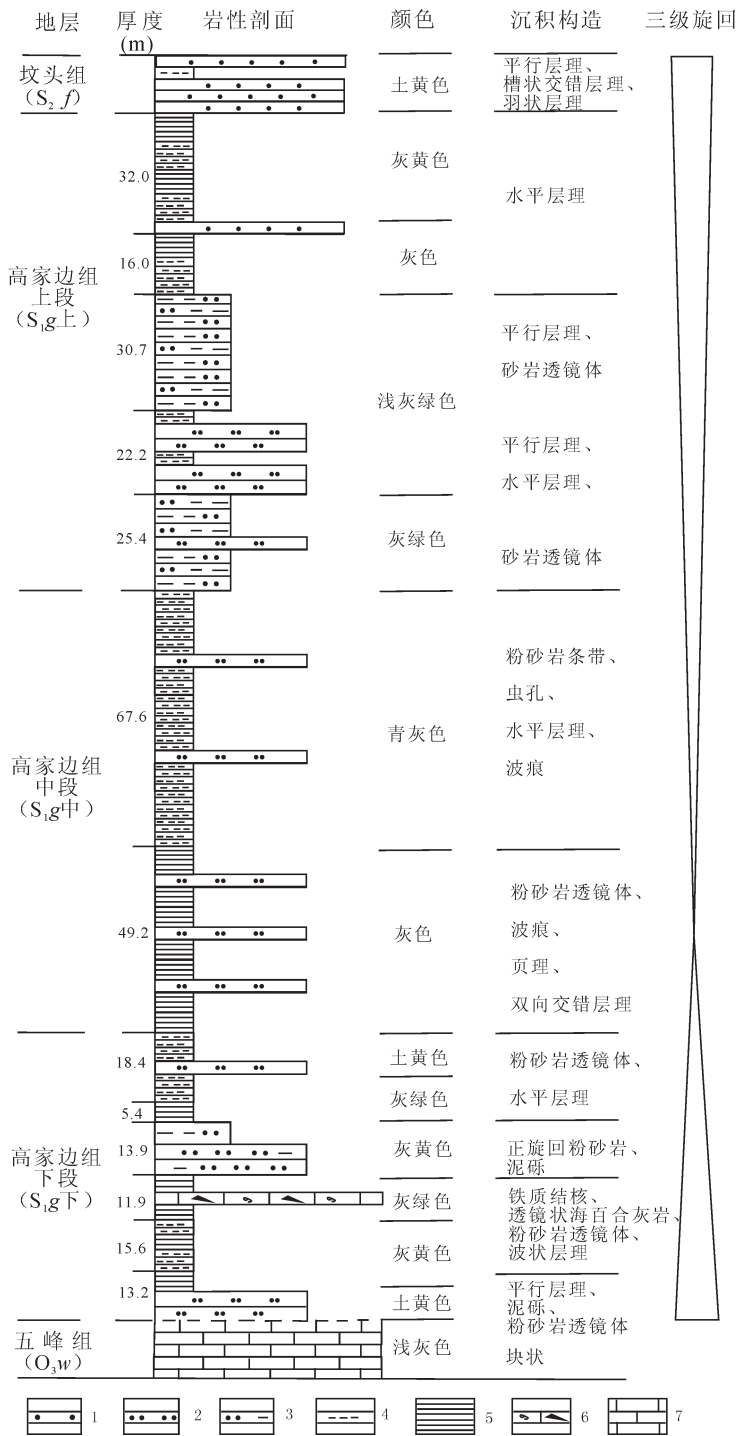


图 1 巢湖市狮子口高家边组沉积柱状图

1—砂岩;2—粉砂岩;3—泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;4—泥岩;5—页岩;6—海百合灰岩;7—泥晶灰岩

Fig.1 Columnar section showing sedimentary features of Gaojiabian Formation at Shizikou of Chaohu City
1—Sandstone; 2—Siltstone; 3—Pelitic siltstone or silty mudstone; 4—Mudstone; 5—Shale; 6—Crinoidal limestone; 7—Micrite

代表细粉砂沉积于水流强度变化频繁、水体不稳定的状态下。与之相反,正常的等深流沉积的分选一般中等到好,局部分选极好^[2-4],属于长期稳定水流条件下的沉积,与研究区粉细砂岩的结构明显不同。

在硅质海百合生屑灰岩中,颗粒主要以各种形态的海百合碎片为主,另含少量泥质岩屑。其中多数海百合碎片表现为长短不一的柱状,最长可达 3.0 mm 左右,形态普遍完好,边缘没有明显的磨蚀。海百合颗粒间主要为白云质胶结,并被后期的硅质胶结物所交代。此外,与海百合灰岩层上下相邻的暗色泥页岩中也常发现一些大小和形态类似的零星海百合碎屑。上述特征表明,这些海百合生屑应属原地或短距离搬运并沉积的产物,不符合长距离搬运、颗粒成分混杂的等深流沉积特点。

2.2 沉积构造特征

在高家边组粉砂岩和泥质粉砂岩表面,常有大量小型不对称波痕出现,其波长 5~5.5 cm,波高 0.1~0.5 cm,大多峰谷皆圆,波脊平直或略弯曲、彼此相互平行。此外,尚可见少数波峰圆滑或相对尖锐、波脊平直、具音叉状分叉、对称或近于对称的浪成波痕(图 2),这表明沉积流体应为流速缓慢的底部水流,有时水动力则表现为小规模往复震荡。

等深流沉积条件下尽管可以出现不对称波痕,但很难发育浪成波痕。这种浪成波痕可与甘肃夏河以东上二叠统内波、内潮汐成因的波浪波痕细砂岩相对比^[5]。

薄层细砂岩和粉砂岩底部常发育有弱的冲刷面,内部常见平行层理。此外还可见脉状层理(图 3)、波状层理和透镜状层理,层系厚度一般为 0.5~3 cm。剥离面上,层系之间含有泥质薄层(图 3),表明沉积时水动力条件的强弱变化非常频繁,而非稳定水动力条件下的沉积。这并不符合等深流的水动力条件,更类似于潮汐沉积作用的特点^[2-3,6-7]。

更典型的是:薄层粉砂岩中有时能见到双向交错层理(图 4)。尽管在露头上不很常见,但双向交错层理的发育是代表潮汐这种往复水流沉积的最直接的证据^[3,6-7]。

生物扰动构造在薄层粉砂岩中很少出现,一般只在粉砂岩层的上表面有少量发育,这与等深流丰富的生物扰动构造^[2,9]有着很大的不同。

在高家边组上部灰绿色泥岩中,还发育沟道充填的砂岩透镜体,内部具平行层理(图 5)。有时还可见废弃的侵蚀沟道中被发育前积纹层的粉砂质泥岩所充填。这表明沉积时的底流不仅流速变化很快,而且横向上范围局限,迁移迅速,这更符合潮汐水流的水动力特点。

2.3 地层中的生物特征

前已述及,高家边组中下部的硅质海百合生屑灰岩中的海百合应为原地或短距离搬运和沉积的产物。古生代的海百合都是有茎海百合,主要生活在滨浅海环境下^[8]。因此,基本可以判定当时的沉积环境应为陆棚以上的较浅海。

此外据报道,在高家边组中下部的青灰色石英粉细砂岩层面上,有三叶虫的爬迹——克鲁兹迹^[1]。实际上,三叶虫属于近浅海海底的游泳生物,它们常和浅海生活的腕足、棘皮、头足和苔藓虫类等化石共同保存在一起^[8]。克鲁兹迹的发现也佐证了高家边组中下部的沉积背景应为浅海环境。

另外,高家边组中下部的页岩中富含笔石化石^①。笔石尽管可以出现在半深海环境,但同样也能发育在近岸海湾、泻湖环境,况且与笔石共生的生物化石还有三叶虫、腕足类、腹足类、双壳类等^①,属于典型的浅海生物组合。

2.4 粉细砂岩的垂向序列特征

典型的等深岩垂向序列是由一个向上变粗的逆递变段和一个向上变细的正递变段构成的双递变序列,反映了等深流活动由弱到强再到弱的一个活动周期^[2,6]。但在巢北地区中下志留统中,尽管也发育有类似的垂向序列,但最常见的是顶底界面突变的正递变旋回(图 5)和均一旋回,尤其是在细砂岩和海百合生屑灰岩中,旋回的厚度 2 cm 至几十厘米。而上述双递变序列则一般仅出现在部分粉砂岩、粉砂质泥岩旋回中。

旋回界面的顶底突变代表的是水流方向和位置的频繁、急剧改变,这种水动力在潮汐环境下最容易出现,主要发育的正旋回也常出现在与潮汐作用有关的环境下^[7]。

2.5 大地构造与地层旋回特征

巢北地区的中下志留统与下伏奥陶系五峰组白云岩地层为平行不整合接触,不整合面在整个扬子

①戴俊生,姜在兴,宋裕发.安徽巢北综合地质实习指导书.石油大学(华东)勘探系.



图2 音叉状分叉的浪成波痕
Fig.2 Wave ripple with tuning fork branches



图3 粉砂岩中的脉状层理
Fig.3 Veinlike bedding in siltstone

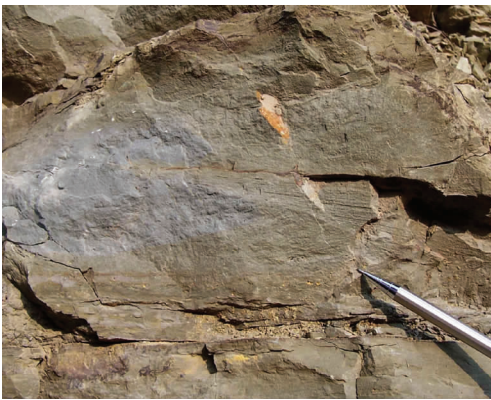


图4 双向交错层理,层系界面弯曲
Fig.4 Bimodal cross bedding with bent layer

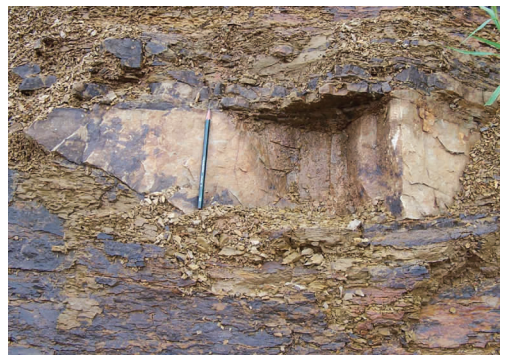


图5 透镜状沟道充填砂体,具平行层理
Fig.5 Lenticular channel-filling sand body with parallel bedding

地区广泛发育(在川南、黔北、湘西以及中、下扬子长江沿线广大地区均有分布^[9]),表明中下志留统是直接发育在早期暴露剥蚀的碳酸盐浅海或台地上的,属于志留纪在大范围剥蚀平原上逐步海侵和海退条件下的产物。

巢北地区高家边组中的暗色泥页岩夹在大套黄色、黄绿色泥岩之中,暗色泥页岩的厚度不足百米。在高家边组上部的坟头组厚层砂岩中,发育羽状交错层理、楔状交错层理等沉积构造,具明显的潮控近岸沉积特征,对此前人早有论述^[10]。在此情况下,与坟头组连续沉积的下伏高家边组也应该与潮汐作用有着密切联系。这样,该地区中下志留统完整的垂向序列应该是:不整合面-滨岸相-浅海陆棚相-潮控滨岸

相-不整合面的完整海进海退旋回,其中难以出现在半深海环境下才发育的等深积岩^[2-4,9]沉积条件。

况且如果高家边组属于半深海相沉积,那么巢北地区势必处在华北板块和扬子板块之间的海槽区,板块运动会在此形成广泛的造山带和板块缝合带。但实际上,结合前人的研究成果^[11-13],巢北地区中下志留统并没有板块缝合带及蛇绿岩带的存在,也不发育强烈的岩浆作用和大量的逆冲推覆构造。

2.6 高家边组的沉积环境分析

综上所述,高家边组的薄层细砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩无论从成分、结构和沉积构造都反映了水动力变化十分频繁环境下的沉积。结合生物组合、沉积序列和大地构造特征,高家边组中下部的薄层砂

①戴俊生,姜在兴,宋裕发.安徽巢北综合地质实习指导书.石油大学(华东)勘探系.

岩和粉砂岩应该沉积于水动力条件强弱不定的浅海条件下,颗粒一般为原地或短距离搬运沉积的。这些特点与等深流沉积明显不同。

一般来讲,浅海陆棚包括浪控陆棚、流控陆棚和潮控陆棚3种类型。高家边组的砂岩、粉砂岩和海百合生屑灰岩不具有风暴和稳定海流沉积的特征,其流速、水道位置变化频繁、沉积物搬运距离短、透镜状砂体、双向交错层理、潮汐层理等特点,明显与潮汐作用密切相关,尤其是与许多学者提出的内波、内潮汐沉积作用^[3-7]十分相似。

但目前的所揭示出来的内潮汐沉积主要发育在大陆斜坡、海底峡谷和海台环境下^[6-7],在浅海陆棚环境下能否发育内波和内潮汐沉积,目前尚难下结论,有待于内潮汐研究的进一步深入。

3 研究意义

潮汐作用下的陆棚沉积和等深流沉积的差异不仅仅体现了沉积环境的不同,更为重要的是与不同的大地构造背景息息相关。结合国内外前人研究成果,对巢北中下志留统“等深积岩”进行的再认识,有助于统一对巢北区域大地构造背景的认识,同时也使得对该区早中志留世沉积环境的认识更加准确和深入,对该区沉积构造演化过程的解释更加合理。

对巢北地区高家边组沉积环境的最终确定,也为进一步研究该区沉积相的平面及空间展布规律提供了必要条件,为在更大范围内准确认识环扬子陆块叠合盆地群的构造、沉积背景提供了有力的保障,甚至有可能推动内波、内潮汐研究的深入。

参考文献(References):

- [1] 姜在兴,赵澄林,熊继辉. 皖中下志留统的等深积岩及其地质意义[J]. 科学通报, 1989, 34(20):1575-1576.
Jiang Zaixing, Zhao Chenglin, Xiong Jihui. Contourite of the Lower Silurian and its geologic significance in central Anhui[J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(20):1575-1576(in Chinese with English abstract).
- [2] 何幼斌,高振中,罗顺社,等. 等深流沉积的特征及其鉴别标志[J]. 江汉石油学院学报, 1998, 20(4):1-6.
He Youbin, Gao Zhenzhong, Luo Shunshu, et al. Features of contourites and their discrimination[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1998, 20(4):1-6(in Chinese).
- [3] 高振中. 深水牵引流沉积-内潮汐、内波和等深流沉积研究[M]. 北京:科学出版社, 1996.
Gao Zhenzhong. The Research of Deep-water Traciyon Current

- Deposits -Internal -tide, Internal -wave and Contour Current Deposits[M]. Beijing: Science Press,1996 (in Chinese).
- [4] Gao Z, Eriksson K A, He Y B, et al.Deep-water Traction Current Deposits—a Study of Internal Tides, Internal Waves, Contour Currents and Their Deposits [M]. Beijing:Science Press, 1998.
- [5] 晋慧娟,李育慈,方国庆. 西秦岭古代地层记录中内波、内潮汐沉积及其成因解释[J]. 沉积学报, 2002, 20(1):80-84.
Jin Huijuan, Li Yuci, Fang Guoqing. Internal-wave and internal-tide deposits in the paleostratigraphic record of the western Qinling Mountains and their origin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1):80-84(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘丽军. 深水牵引流沉积特征及研究现状[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4):369-373.
Liu Lijun. Characteristics and research status of deep-water tractive current deposits [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20 (4): 369-373(in Chinese with English abstract).
- [7] 何幼斌,罗顺社,高振中. 内波、内潮汐沉积研究现状与进展[J]. 江汉石油学院学报,2004,26(1):5-10
He Youbin, Luo Shunshu, Gao Zhenzhong. The research and development about internal-wave and internal-tide deposits [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(1):5-10(in Chinese).
- [8] 范方显. 古生物学教程[M]. 东营:石油大学出版社, 1993.
Fan Fangxian. Paleontology Tutorial [M]. Dongying:China University of Petroleum Press, 1993(in Chinese).
- [9] 文玲,胡书毅,田海芹. 扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6):11-14.
Wen Ling, Hu Shuyi, Tian Haiqin. Lithofacies paleogeography and petroleum geology of the Silurian in Yangtze area [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(6):11-14(in Chinese with English abstract).
- [10] 王茵,曾勇,陈松. 安徽巢北地区下志留统坟头组沉积环境分析[J]. 安徽地质, 2007, 17(3):166-170.
Wang Yin, Zeng Yong, Chen Song. Analysis of sedimentary environment of the Fentou Formation of Lower Silurian in the northern Chaohu area, Anhui [J]. Geology of Anhui, 2007, 17(3): 166-170(in Chinese).
- [11] 程裕淇.中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社,1994.
Cheng Yuqi. Introduction to Chinese Regional Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [12] 高长林,单翔麟,秦德余. 中国古生代盆地基底大地构造特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(6):551-558,564.
Gao Changlin, Shan Xianglin, Qin Deyu. The basement tectonic characteristics of the palaeoic basin . China [J]. Petroleum Geology & Experiment,2005,27(6):551-558,564(in Chinese with English abstract).
- [13] 吴根耀,马力,陈焕疆,等. 苏皖地块构造演化、苏鲁造山带形成及其耦合的盆地发育[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(4): 337-353.
Wu Genyao, Ma Li, Chen Huanjiang, et al. Tectonic evolution of the Su -Wan Block, creation of the Su -Lu orogen and orogenesis - coupled basin developing [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27 (4): 337-353(in Chinese with English abstract).

Restudy of the depositional environment of Lower–Middle Silurian strata in northern Chaohu area

LI Hao^{1,2}, WANG Guan–min³, GAO Liang³

(1. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2. *Exploration and production Research Institute, SINOPEC, Beijing, China*;
3. *College of Earth Resource and Information, China University of Petroleum. Qingdao 266555, Shandong, China*)

Abstract: Based on previous researches in China and abroad, this paper expounds the depositional environment of Lower–Middle Silurian strata in Chaohu area in the aspects of lithology, sedimentary structure, fossil organism, formation cycle and geotectonics. According to the counterevidence and abundant new evidence, the authors have come to a conclusion different from previous researchers' understanding: the Lower–Middle Silurian strata in the northern Chaohu area belong to the tide–dominated continental shelf instead of to the contour current deposit held by some previous researchers. This conclusion will contribute to the correct understanding of the Silurian geotectonic background and tectonic sedimentary evolution of this area.

Key words: Lower–Middle Silurian; contourite; internal–tide deposits; continental shelf; northern Chaohu area

About the first author: LI Hao, male, born in 1966, doctor and enrolled postdoctoral, engages in the Petroleum geology study; E–mail: wguanmin@sina.com.