

陕南志留系五峡河组地层的沉积环境 与笔石生活和保存的关系

雒昆利 邓宝

(西安矿业学院)

提要 笔者测制五峡河组剖面时,在约 1m^2 的面积内,逐层系统地采集笔石和岩性标本;统计了典型层面上笔石的丰度,绘制了一些属种的死亡曲线;系统鉴定了围岩岩石的矿物成分,分析了岩石中的二价铁 (Fe^{++}),三价铁 (Fe^{+++}),硫 (S),碳 (C) 的含量和 pH 值.在此基础上,本文讨论了五峡河组的沉积环境、笔石的生存及保存状态以及它们之间的关系.

关键词 五峡河组 沉积环境 笔石生存、保存

第一作者简介 雒昆利 女 31 岁 博士 地层古生物

前 言

陕西南部秦岭南麓紫阳、岚皋一带的志留系五峡河组地层发育完整,笔石丰富,种类繁多,是研究含笔石地层的沉积环境与笔石生存和保存关系的理想地区之一.

笔者 1983 年春至 1984 年夏,在紫阳、岚皋、平利一带踏勘了三条剖面,详测了两条志留系剖面,其中五峡河组岩石的结构构造与笔石的丰度有密切的关系.五峡河组几乎全部由厚 5—15cm 的韵律层组成,每单一韵律层由下至上为:具粒序层理的粗粉砂岩;具水平波状层理的粉砂质泥页岩;具水平微波状纹层的泥页岩和具块状层理的泥岩,在上述各小层中,笔石丰度,个体大小都有明显的差异,变化很大,但有规律性:粗粉砂岩段中几乎没有发现笔石,而粉砂质泥页岩中笔石化石丰富.为了探讨这些现象的内在联系及其规律,笔者选择了韵律层中不同层段中的岩石进行了全分析,随后选择了几个对笔石丰度影响较大的元素重新进行光谱分析;根据笔石自身的特点,绘制了一些属种的死亡曲线等.在此基础上,对该区五峡河组的沉积环境,笔石的死亡、赋存状态以及它们之间的关系进行了研究和讨论.

一、地层的沉积特点及环境模式

1.白崖垭剖面简述

白崖垭剖面位于岚皋县城东约 15km 处.所测地层从白崖垭口开始,包括白崖垭组,五峡河组.现将五峡河组剖面简述如下.

五峡河组

主要由黑灰色泥岩与灰色泥页岩,粉砂质泥页岩、粉砂岩所组成的韵律层组成,各单一

韵律层的厚度不大于 15cm, 一般为 4-10cm. 现对其中一段的化石和岩性描述一下.

19. 深灰色粉砂岩与粉砂质泥页岩, 泥岩互层. 在距上层面 4cm 处的粉砂质泥页岩中产 *Monograptus priodon*. 在第二韵律层中的粉砂质泥页岩中产 *Oktavites spiralis*, 在第三节韵律层中的粉砂质泥页岩和泥岩中产 *Oktavites spiralis*; *Gyrtoagraptus* sp; *Retiolites geintzianus geintzianus*; *Monograptus priodon* 等
0.70m

18. 深灰色粉砂岩, 夹泥质纹层, 风化破碎很厉害, 没有采到化石. 0.12m

17. 浅灰色粉砂岩与粉砂质泥页岩, 泥页岩组成的 4 个韵律层. 泥页岩中产笔石 *Monoclimacis vomerinus vomerinus*; *Oktavites spiralis*; *Monograptus gemmatus*; *Pristiograptus* sp 等. 0.34m

16. 黄灰色水平波状层理的粉砂岩, 中夹 0.5cm 厚的粉砂质泥页岩. 产 *Monoclimacis* sp; *Monograptus gemmatus*; *Oktavites spiralis* 等. 0.94m

15. 浅灰色粉砂岩与泥页岩互层, 本层中共有 7 个韵律层, 产丰富的 *Cyrtoagraptus* cf. *canadensis*, *Cyrtoagraptus* sp.

14. 浅灰色泥岩, 泥页岩与粉砂岩组成两个韵律层. 在距层项 9.5cm 的泥页岩中产大量的 *Oktavites spiralis* 和 *Cyrtoagraptus lapworthi*. 下部为深灰色粉砂岩, 不产化石.

13. 在 20cm 内有 5 个粉砂岩与粉砂质泥页岩和泥页岩组成的韵律层, 在粉砂质泥页岩中产丰富的: *Monograptus* cf. *gemmatus*; *Pristiograptus* cf. *dubius*; *P. watneyae*; *Monoclimacis vomerinus vomerinus*; *Oktavites* sp; *Cyrtoagraptus lapworthi*; 等笔石化石. 0.20m

12. 浅灰色粉砂质泥页岩与泥页岩互层, 产丰富的个体很大的弓笔石, *Cyrtoagraptus* cf. *lapworthi*; 铺满整个层面, 和少量 *Oktavites spiralis*. 2.5m

11. 浅灰色粉砂岩与粉砂质泥页岩, 泥页岩互层, 在粉砂质泥页岩和泥页岩中产丰富的 *Oktavites spiralis*; *Cyrtoagraptus tapworthi*; *Stomatograptus grondis*; *Stomatograptus* sp; *Monograptus priodon*; *Monograptus* cf. *cobtus*; *M. gemmatus*; *Retiolites geintzianus*; *Pristiograptus praedubius*; *Cyrtoagraptus* sp 等笔石化石. 0.3m

.....

下伏地层: 陡山沟组

2. 五峡河组岩石的结构构造

五峡河组岩石的结构构造如上述. 主要为粉砂岩、粉砂质泥页岩、泥页岩与泥岩组成的韵律层, 其中泥/砂比大于 1. 在泥页岩中, 特别是粉砂质泥页岩中富含笔石化石. 各韵律层中粉砂岩的底界都很清楚, 槽模、重力模很发育.

现将五峡河组岩石的单一的韵律层的结构、构造、含笔石化石的丰度分段综述如下:

e 段: 黑色泥岩, 块状层理. 含较多的被 H_2S 染黑的泥砾, 产笔石化石, 丰度较小, 一般厚 3-4cm.

d₂ 段: 具有水平微波状纹层的浅灰色 (风化色) 泥页岩, 富含黄铁矿结核, 层面上往往有被 H_2S 气体染黑的黑色泥砾, 有机质碎片的含量也较高, 产笔石化石.

d₁ 段: 具有水平波状纹层的浅灰色—深灰色粉砂质泥页岩, 产黄铁矿结核, 含有机质碎片, 产笔石化石, 丰度较大.

c 段: 具有缓波状的小型砂纹层理, 包卷层理、小羽状交错层的粉砂岩, 没有发现笔石化石, 一般厚 1-2cm.

b 段: 粗粉砂岩段, 具粒序层理, 不产笔石化石, 一般厚约 0.5-1cm.

五峡河组岩石的粒度一般都小于 1mm, 岩石主要由粘土矿物和碎屑矿物组成, 粘土矿物主要为水云母 (50%), 高岭石 (15%) 和少量的硅质, 帘石和楣石. 碎屑矿物主要有石英 (25%), 长石、白云石、锆石、电气石等组成. 岩石的颗粒与杂基比小于 1.

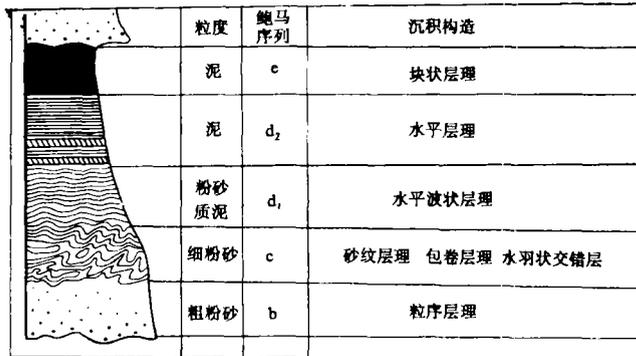


图 1 一个单一韵律层的结构构造及鲍马序列

Fig.1 Texture and structure of one rhythmic bed and Bouma sequence

这套地层侧向延伸稳定, 在陕南紫阳、岚皋等地——即大巴山深大断裂带与红椿坎深大断裂带之间的广大地区, 都有沉积.

(三) 沉积模式

五峡河组岩石的韵律层比较小, 各韵律层的厚度相差不大, 纹层的厚度也小. 岩石颗粒细, 岩层为规则的层状, 纹层层理, 沙纹交错层等层理发育; 韵律层的泥/沙比率高, 大于 1. 粉砂岩底界明显, 颗粒分布呈正粒序状态. 这些特征表明, 岩石颗粒在沉积前经过一定距离的搬运 (H. E. 赖内克, 1979)^①. 而很细的纹层 (在泥页岩中, 各纹层的厚度小于 2mm 表明沉积盆地中水流的速度较低. 因此, 五峡河组的岩石为远源、低密度流的浊积岩, 它的韵律层序列相当于鲍玛序列的 B、C、D 和 E 段, 缺失 A 段, 有时缺失 B 段. 与沃克 (Walker) 所定的浊积相的 D 相当^①.

紫阳、岚皋在大地构造单元中属秦岭褶皱系、北大巴山冒地槽褶皱带^②, 该区的沉积、地化特征与两侧的红椿坎、大巴山断裂带外侧截然不同, 是受加里东期构造活动的控制和影响的, 该区为覆水较深的断陷盆地 (图 2). 当盆地边缘的沉积物, 在重力或构造等因素的影响下, 自行跨落, 形成密度流, 流向盆地, 一些较粗的碎屑物首先沉积在场子地台台缘附近^③, 而较细的颗粒流向远离场子地台的盆地, 这样, 一个浊积岩的韵律层就形成了. 当地台边缘的沉积物又堆积到一定量的时候, 重力作用和较为不稳定的基底等, 便沉积物又自行跨落 (C. O. Dunber and J. Rodger, 1974), 这时, 在盆地中又沉积了一个浊积岩的韵律层. 这使得该区沉积了这一套粒度细, 韵律层厚度较均匀的浊积岩.

^①R.G 沃克, 1982, 沉积相模式, 地质部情报研究所译, 地质资料科技资料选编 (70).

^②陕西省地质局, 陕西省区域地质图紫阳—平利幅及说明书.

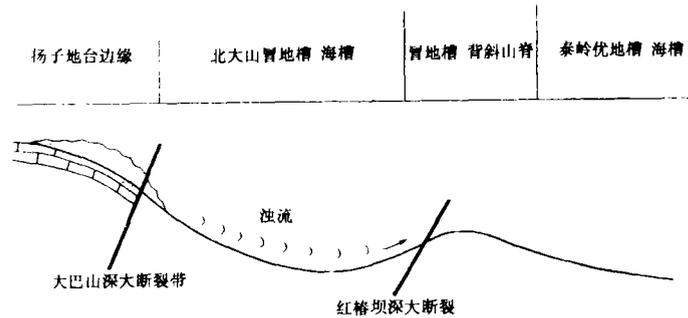


图2 沉积环境模式图

Fig.2 Pattern map of the depositing environment

三、笔石的保存状态和围岩性质的关系

1. 笔石的丰度和围岩性质的关系

表1是选择的几个化石丰度和岩性有代表性的韵律层中的不同层段进行光谱分析的结果。其中 X_{6-4} 号是粉砂岩小段，不产化石，相当于鲍马序列中的B段或部分C段。 X_{3c} 和 X_{3b} 是化石丰度最大的层段，为粉砂质泥页岩，相当于鲍马序列的 D_2 段，富含黄铁矿结核。 X_{3s} 、 X_{1G} 为泥页岩，含化石丰度均一，相当于鲍马序列的 D_2 段。 X_{8sh} 为黑色泥岩，产笔石化石少，但个体大，相当于鲍马序列的E段，即内浊积岩段。

图3是笔石的丰度与岩石结构、构造和化学性质的关系图，从中不难看出，在五峡河组的地层中，笔石化石大都保存在各韵律层中的粉砂质泥页岩段或泥页岩及泥岩段中，在粉砂质泥页岩中，丰度最大，泥页岩中，丰度次之；在泥岩段中较小，在粉砂岩中没有发现笔石化石。

表1 化学分析结果

Table1 Result of chemical analysis

样品编号	分析编号	分析元素				
		FeO%	S _Q %	C%	pH	Fe ₂ O ₃ %
X_{8sh}	84-岩-1159	0.55	0.002	0.08	/	0.50
X_{1G}	84-岩-1158	0.50	0.002	0.06	/	0.75
X_{3s}	84-岩-1155	0.50	0.002	0.06	7.82	0.59
X_{3c}	84-岩-1161	0.80	0.04	0.08	8.10	1.09
X_{3b}	84-岩-1154	0.75	0.05	0.11	7.66	1.20
X_{6-4}	84-岩-1157	0.55	0.01	0	/	1.78

注： X_{8sh} 、 X_{1G} 、 X_{3s} 等样的碳含量均是除去黄铁矿结核和泥砾的岩样的含量，分析由西安煤炭研究分院完成。

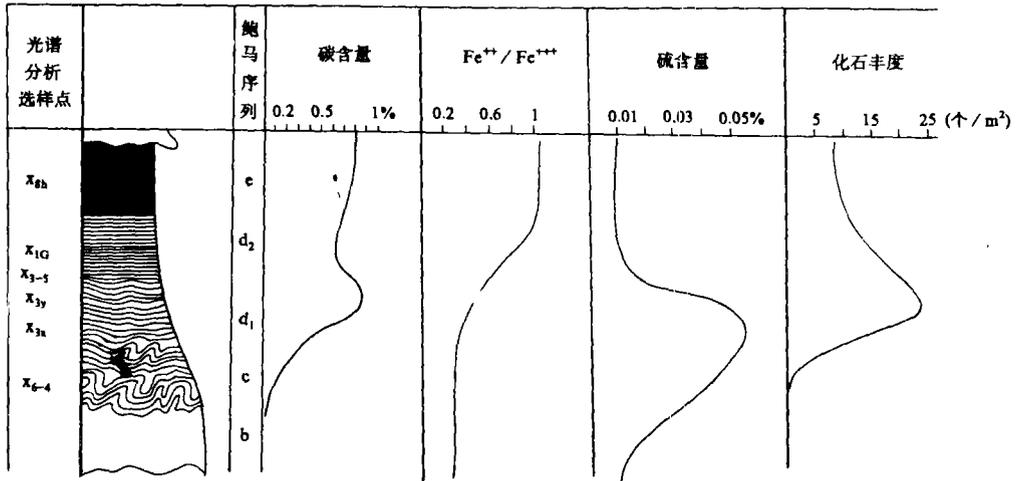


图 3 笔石丰度与围岩性质关系示意图

Fig.3 Schematic diagram of the relationship between the abundance of graptulites and the characters of the country rock

2.笔石的死亡、保存与浊流环境的关系

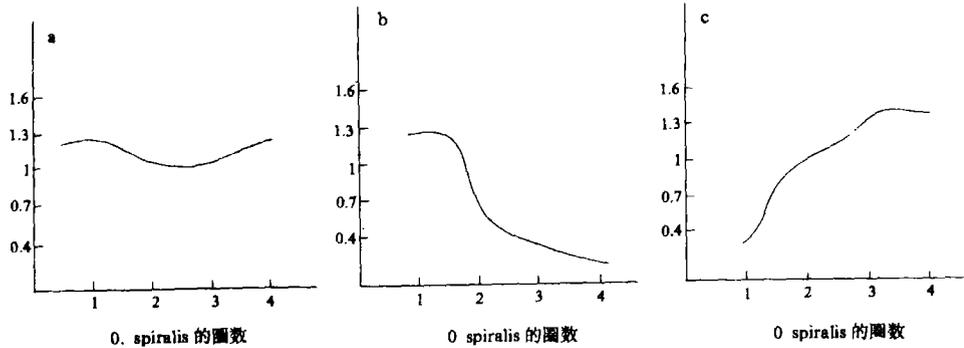
为了研究造成了一个韵律层内不同层段中笔石化石丰度差异的原因？笔者选择了一些岩性和产化石有代表性的韵律层；先作出整个韵律层中某一个种群的死亡曲线然后再做各分段，如 d₁, d₂, e 段的死亡曲线，进行比较和讨论。

绘制死亡曲线需满足两个基本条件(华东师范大学等, 1982; S. L 魏伯振, 1982:) 1.所研究的居群内个体是同时死亡的. 这对除在个体发育中须多次脱壳的生物 (如三叶虫) 外的生物的化石居群是适合的; 2.所研究的居群是原地水体中的化石居群, 笔石是浮游生物, 但在本段地层中保存得非常完整, 且各层段中化石个体大小不一, 所以可以认为在五峡河组同一层面上或相邻层面上的笔石群为原地埋藏或仅仅经过短距离的搬运。

假设笔石的个体大小和其年龄值成正比, 如 *Oktavites spiralis* 的圈数代表它的年龄, *Monograptus* sp.的个体长度和它的年龄成正比. 以此为横坐标, 以化石数 50 为基数, 取其常用对数值为纵坐标。

图 4 是一个韵律层中不同层段的 *Oktavites spiralis* 的死亡曲线. a 是一个韵律层中 *Oktavites spiralis* 的平均死亡曲线. b 是一个粉砂质泥页岩的层面上的 *Oktavites spiralis* 的死亡曲线, 它为突然右斜的曲线, 因为在这个层面上, 几乎铺满了化石, 大多数为不到一圈的 *Oktavites spiralis* 的幼体, 而超过两圈的化石较少. 在各韵律层上部的泥页岩和泥岩层段

中, 笔石化石丰度不大, 但个体大, 圈数多, *Oktavites spiralis* 的圈数一般为 3-4 圈, 图 4-c 是这个层段中 *O. spiralis* 的死亡曲线, 为左斜的. 对几个韵律层中的 *Monograptus* sp 作了死亡曲线, 其曲线形状和 *Oktavites spiralis* 的相同或相近.



a. 一个韵律层中 *O. spiralis* 的平均死亡曲线 b. 韵律层中相当于鲍马序列 d 段的粉矿质页岩中的 *O. spiralis* 的死亡曲线
c. 韵律层中相当于鲍马序列 e 段的黑色泥岩中的 *O. spiralis* 的死亡曲线

图 4 一个韵律层的不同层段中 *O. spiralis* 的死亡曲线

Fig. 4 Dead curves of *O. spiralis* that preserved in different layers of one rhythmic bed

五峡河组中, 各韵律层中粉砂质泥页岩段中的笔石的死亡曲线大多数都明显右斜 (图 4-b), 是不正常的死亡曲线, 而泥页岩段和泥岩段中笔石的死亡曲线大多是左斜的, 为正常死亡曲线.

造成笔石正常死亡和非正常死亡的主要原因是该区当时的沉积环境.

当浊流物质进入盆地之前, 由于盆地两侧断裂等的影响, 使盆地两侧基底不平 (图 2), 造成盆地底部水流不畅, 水体缺氧, 含有笔石尸体分解时产生的 H_2S 气体, Fe^{++}/Fe^{+++} 比值大于 1 (表 1), 底层水体为还原环境, 底栖生物无法生存. 上层水体中的笔石死亡后, 个体漂落下来, 得以保存. 这时盆地中没有外来物质的侵入、干扰, 沉积物一般为黑色块状泥岩 (相当于鲍马序列 E 段), 笔石的死亡为正常死亡, 化石丰度较小, 个体大, 死亡曲线为左斜的.

当浊流进入盆地后, 较粗的颗粒 (砂粒) 先沉积下来. 这时, 即使有笔石尸体漂落下来, 也会被浊流揉碎, 或被氧化分解掉. 所以在韵律层的砂岩段中, 没有发现笔石化石. 该段的 Fe^{++}/Fe^{+++} 的比值小于 1 (表 1, X_{6-4}), 为氧化环境. 而浊流中较细的物质, 如泥粒的沉积速度要慢一些, 一部分还可扩散到上层水体中 (图 5).

浊流的到来, 不可避免的破坏了盆地底部的水介质条件, 搅动了盆地底部的 H_2S 气体, 使它随着细粒物质一起扩散, 当这些带着 H_2S 气体的物质扩散到笔石生活的层位时, 就会杀死大量的笔石. 这种水体翻转时底部有害物质杀死水体表层浮游动物的现代例子如挪威海峡的黑色页岩中的动物的成群死亡和南非西海岸 3 或 4 年间出现一次造成大量死亡的“红潮”(C. O. Dunber and J. Rodgers, 1974). 所以在粉砂质泥页岩和部分泥页岩段中 (相当于鲍马序列的 D_1 、 D_2 段) 笔石化石富集, 个体小, 死亡曲线为右斜的, 为不正常死亡曲线.

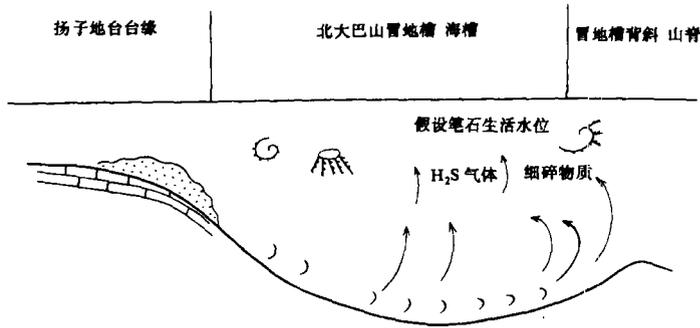


图 5 浊流物质及盆地水体运动模式

Fig.5 Movement model of the substance of turbidity current and the basin water

当一次浊流沉积结束后, 盆地底层水体又趋于平静, 由于笔石尸体分解时产生 H_2S 气体并消耗氧, 使盆地底部的水介质条件又逐渐恢复到浊流到来之前的状态, 直到下次浊流的到来. 周而复始, 在盆地中形成了这套由 5-15cm 厚的浊积岩组成的地层.

另外, 根据定向指数, 盆地中的浊积岩的物源区位于盆地西南方向——扬子地台方向. 在岚皋剖面测了 11 个层面的槽模、单笔石的方位值, 取其均值角度 (表 2), 然后求整体的均值角度 θ (R. A. 雷门特, 1981).

表 2 单笔石等的方位值

Table 2 Bearing values of *Monograptus* sp

层序号	方位角	$\text{Cos}\alpha_i$	$\text{Sin}\alpha_i$
1	200	-0.937	-0.342
2	185	-1.996	-0.087
3	196	-0.956	-0.292
4	270	0	-1
5	167	-0.974	-0.224
6	190	-0.985	-0.174
7	199	-0.945	-0.326
8	145	-0.819	+0.573
9	186	-0.944	-0.105
10	240	-0.5	-0.866
11	260	-0.174	-0.985

$$x_i = \text{Cos}\alpha_i \quad y_i = \text{Sin}\alpha_i, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Cos}\alpha_i = -0.753, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Sin}\alpha_i = -0.348,$$

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} = 0.8295, \quad \text{Cos}\theta = \bar{x} / \bar{r} = -0.908, \quad \text{Sin}\theta = \bar{y} / \bar{r} = -0.4195, \quad \text{查表 } \theta$$

为 205°C . 偏差为:

$$S = \sqrt{2(1 - \bar{r})} = 0.58395, \quad \text{相应的角度变化范围为 } 66^\circ.$$

收稿日期: 1990年6月23日.

参 考 文 献

- (1) 华东师范大学等, 1982年, 动物生态学, 高等教育出版社.
- (2) S.L. 魏伯根, 复旦大学译, 1982, 生物学, 人民教育出版社.
- (3) H.F. 赖内克等, 陈昌明译, 1979, 陆源碎屑沉积环境, 石油工业出版社.
- (4) C.O. Dunbar and J. Rodgers, 杨遵仪、徐桂荣译, 1974, 地层学原理, 地质出版社, 158-163页
- (5) R.A. 雷门特, 肖义越译, 1981, 定量古生态学导论, 科学出版社.

Depositional Environment and Its Relationship with the Life and Preservation of Graptolites of the Silurian Wuxiahe Formation, Southern Shaanxi

Luo Kunli Deng Bao
(Xi'an Mining Institute)

Abstract

The present paper focus on the depositional enviroment and its relationship with the life and the preservation of graptolites in the Silurian Wuxiahe Formation, southern Shaanxi. First, The authors collected the fossils layer by layer in about one square metre and got the statistics of the fossils on the surface of each layer. Then drawn the dead curves of some spcial species and analysed the characteristics and the content of some elements in country rocks, such as Fe^{++} , Fe^{+++} , S, C and pH, and so on, main conclusions obtained as follows:

1. The depositional enviroment was a cutoff basin, the bottom water current was confined and the condition was reducing, so there no benthonic arganism could survive.
2. The rock types of Wuxiahe Formation is turbite, consisting of siltstone, silty shale, shale and black mudstone, correspond to the B, C, D and E divisions of the Bouma sequence, respectively, while A-division (some time B-division) is lacuna.
3. The graptolites is richest in the siltyshale and shale, less in the mudstone and none in the siltstone.
4. The change of the graptolites abundance is mainly resulted from its sedimentary environment and the invasion of the turbidity current. When the current reached to the basin from the Yangtze Platform, croase

sediments (sands) will deposit first, the dropping graptolites carcasses might be tear to shreds by the current. so, none fossils was found in sandstone. while with the diffusion of the fine-grained particles to the upper water body, associate H_2S which agitated up by turbidity current form the bottom of basin, with most of the graptolites would be killed and their carcasses can be preserved at the bottom, of basin so a great deal of graptolite fossils can be found in silty shale and shale (correspond to D_1 and D_2 division of Bouma sequenco).

四川省第二届石油勘探开发 青年学术研讨会在南充召开

五月二十八日，四川省第二届石油勘探开发青年学术研讨会在四川省南充市西南石油学院隆重召开。

来自四川和北京、山东、河北、新疆、甘肃等省市区的 82 名石油勘探开发教学、科研、生产第一线的青年学者代表和特邀代表出席了会议。本届研讨会共收到论文 110 篇。在为期四天的研讨会上，宣读、交流和发表石油地质、地球物理、石油开发和石油经济等学科的论文 82 篇。其中，在沉积地质学、有机地球化学、生油理论、碳酸盐岩地区地震解释、水平钻井及保存油层等方面提出许多新见解，部分研究成果达到了国内先进水平。据悉，会上发表的优秀论文，将由成都科技大学出版社结集正式出版。

这次研讨会是对四川省，乃至全国石油勘探开发界青年科学工作者的学术水平和科研成果的一次大检阅。

中科院地学部学部委员、成都地矿所所长刘宝君教授、中国地学会青年工作委员会知名学者和学术机构向研讨会发来了贺信、贺电。

吕上兵