

华南五峰期笔石动物群的分异 及缺氧环境

陈旭

(中国科学院南京地质古生物研究所)

肖承协* 陈洪冶*

(地矿部赣州地质学校)

前言

晚奥陶世五峰期,即 Ashgill 期的笔石动物群在我国南部特别发育,其分布范围包括从扬子流域至珠江流域的广大地区。这些地区在五峰期都属于同一个大地构造单元,即华南古板块。

扬子地台五峰期的笔石最早由穆恩之教授(1945, 1954)研究,近年来穆恩之等正在系统总结这一地区的五峰期笔石动物群,多年来他还提出了笔石动物群生态分异的概念(穆恩之, 1974, 1980, 1983; Mu, 1984)。从六十年代以来,笔者曾先后观察了不少华南晚奥陶世地层剖面,采集了笔石。这些丰富的笔石动物群和岩石地层的资料,使笔者感到深入认识和探讨这一动物群的分异以及黑色笔石页岩的特殊形成环境是很有必要的。本文涉及的材料中,仅对桂北兴安、临桂、赣南崇义古亭和浙西江山长坞晚奥陶世的笔石作了附图,鉴于这些笔石都已描述多次,因此不再重复。

本文完成过程中得到穆恩之老师的支持和指导,戎嘉余同志提供了宝贵意见,丘金玉同志鉴定了浙西于潜组的岩石标本,韩乃仁同志提供了浙江江山长坞组 *Climacograptus* sp. 的标本,杨达铨、赵祥麟、林尧坤诸同志与笔者一起观察了浙西临安于潜组的剖面,广西临桂的标本系广西区域地质调查大队三分队寄赠,笔者

深为感谢。本文的插图中,除笔石图像两幅、剖面图 1 幅为笔者本人绘制之外,其它 3 幅系由任玉皋同志清绘。

笔石动物群的分布

五峰期笔石动物群在扬子地区,特别是上扬子流域发育最好。计有 25 属 100 种以上 (Mu and Lin, 1984), 其中已发表的有 21 属。特别在 *D. szechuanensis* 带 (W_2) 至 *T. typicus* 带 (W_3) 地区性分子多,是一个分异度很高的笔石动物群 (Chen and Lenz, 1984)。这些笔石动物群已多次报道和描记 (尹赞勳、穆恩之, 1945; 穆恩之, 1945, 1954; Mu and Lin, 1984; 汪啸风等, 1983)。浙皖湘赣及两广同时期的笔石动物群近年来已开始描述发表,杨达铨 (1983) 和葛梅钰 (Ge, 1984) 分别描记了浙西北临安和于潜堰口层的笔石;李积金 (1984) 描述了皖南宁国、绩溪、太平及黟县新岭组的笔石。笔者等在本文中补充的材料如下:

1. 广西兴安和临桂: 如插图 1 和 2 所示,这两个产地的笔石主要为: *Dicellograptus szechuanensis* Mu, *D. cf. complanatus* Lapworth, *D. ex gr. complanatus arkansasensis* Ruedemann, *D. tenuiculus* Mu et al., *D. excavatus* Mu, *Orthograptus intermedius* Elles and Wood, *Climacograptus latus* Elles and Wood, *C. longispi-*

* 承担赣南崇义的地层和笔石研究。

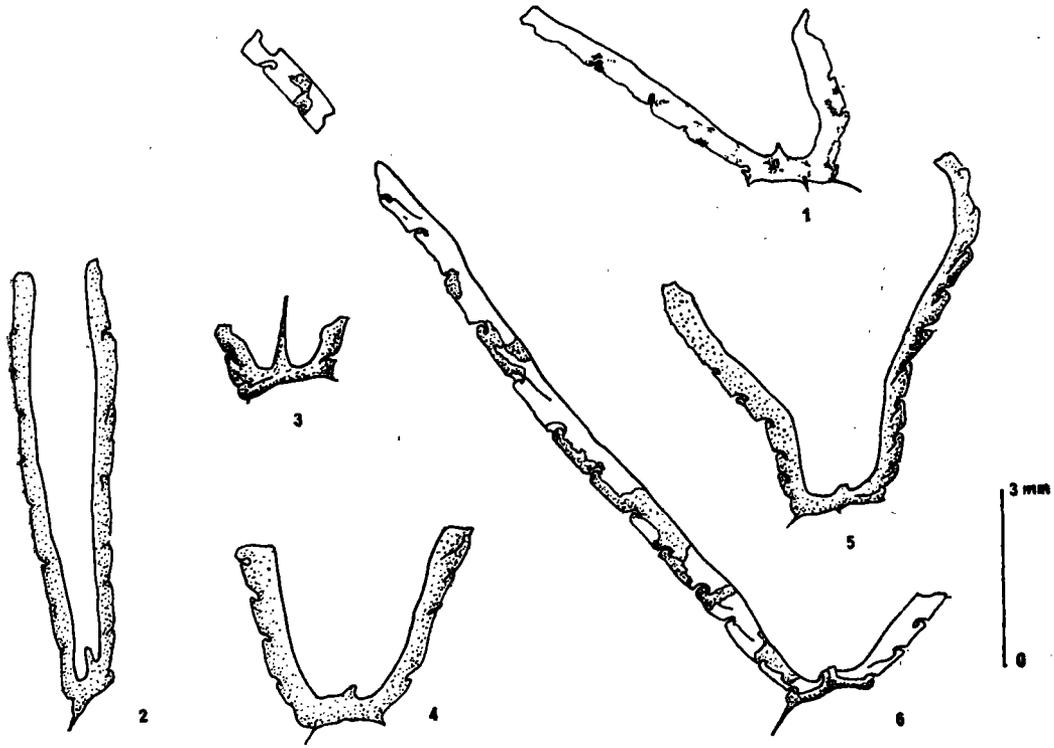


插图1 华南晚奥陶世五峰期的几种叉笔石
Some Wufengian species of *Dicellograptus* (Late Ordovician)
from South China

- 1,6. *Dicellograptus* cf. *complanatus* Lapworth 1.江西崇义古亭石狮口上奥陶统。野外号：8340-14；登记号：97209；6.广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号：QN208；登记号：97210。
- 2. *Dicellograptus* ex gr. *complanatus arkansasensis* Ruedemann 广西临桂五通上奥陶统田岭口组。野外号：B₃-14123-A₃；登记号：97211。
- 3. *Dicellograptus excavatus* Mu 广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号：QN207；登记号：97212。
- 4. *Dicellograptus tenuiculus* Mu et al. 广西临桂五通上奥陶统田岭口组。野外号：B₃-14130-10；登记号：97213。
- 5. *Dicellograptus szechuanensis* Mu 广西临桂五通上奥陶统田岭口组。野外号：B₃-14124-A₁₂；登记号：97214。

nus supernus Elles and Wood, *C. longispinus hvalross* Ross and Berry, *Amlerograptus suni* (Mu), *A. disjunctus yangtzensis* Mu et al., *Pararetiograptus sinensis* Mu。笔石均产自上奥陶统田岭口组，为一套厚 123m 的复理式沉积，属五峰期的 *A. disjunctus yangtzensis* 带 (W₁) 和 *D. szechuanensis* 带 (W₂) (陈旭等, 1981)。

2. 赣南崇义古亭：剖面位于崇义古亭石狮口，地层自上而下可简述为：

—掩盖—

上奥陶统高草地组

- 10. 灰黄色中厚层石英砂砾岩。 35m

- 9. 灰黄、灰绿色中薄层粉砂质板岩。 95m

- 8. 灰绿、灰黑色中薄层千枚状板岩。 235m

- 7. 灰绿、灰黑色中薄层千枚状粉砂质板岩。

产笔石 *Dicellograptus* cf. *complanatus* Lapworth, *Climacograptus longispinus supernus* Elles and Wood, *Orthograptus* cf. *amplexicaulis* (Hall)。
143m

中(?)—上奥陶统古亭组

- 6. 黑色、灰黑色中、厚层含炭灰岩。

含珊瑚 *Palaeophyllum* sp. 及腕足动物化石碎片。 30m

- 5. 灰、灰黑色与灰白色中至厚层结晶灰岩，夹少量绿色薄层粉砂质板岩，含珊瑚等化石。

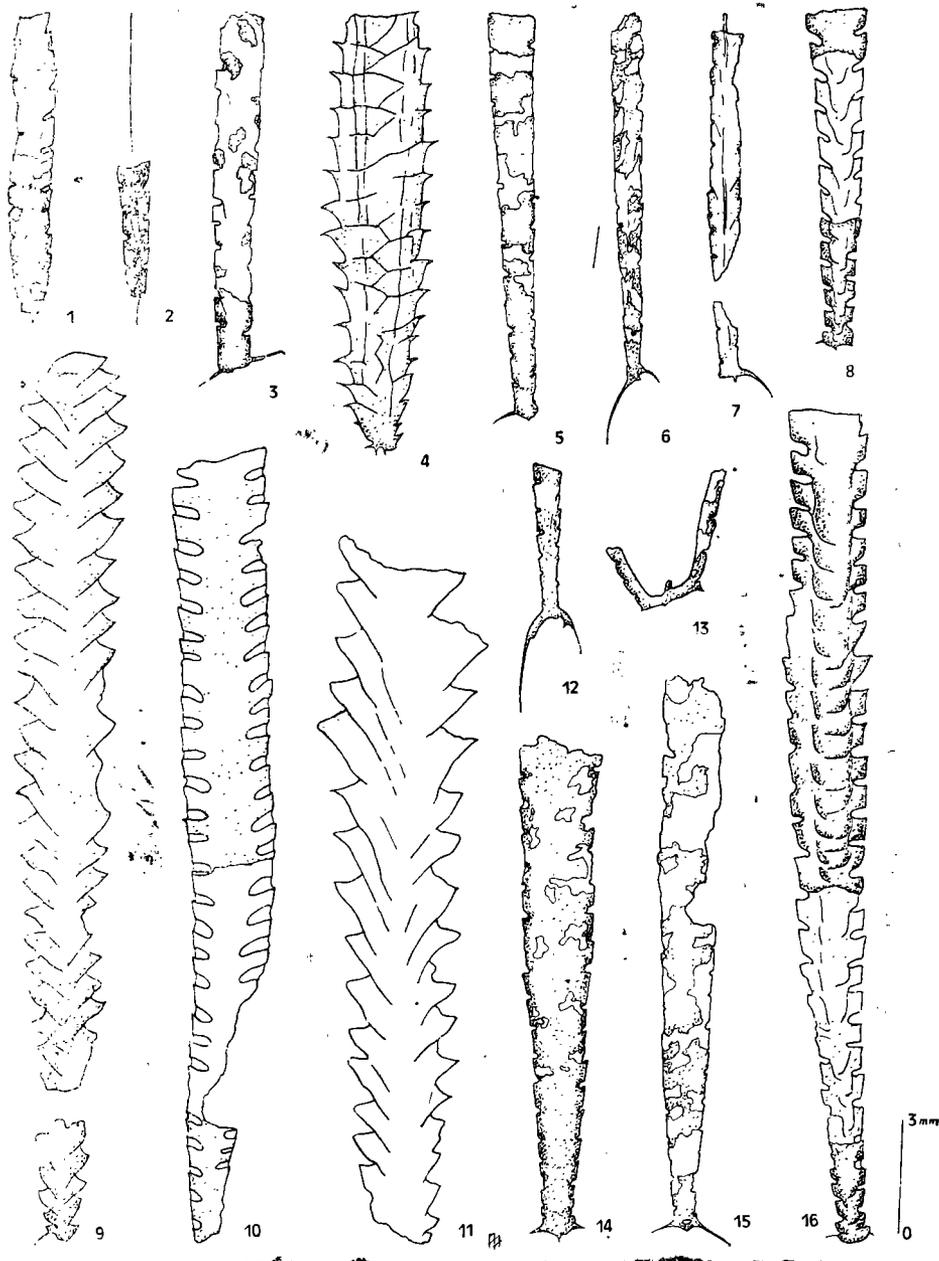


插图2 华南晚奥陶世五峰期的几种双列笔石
Some Wufengian (Late Ordovician) biserial graptolites from South China

- 1, 2. *Climacograptus* sp. 浙江江山长坞上奥陶统长坞组。野外号: H₁; 登记号: 97215, 97216。
- 3, 5—7. *Climacograptus longispinus supernus* Elles and Wood 3. 江西崇义古亭石狮口上奥陶统。野外号: 8340-15; 登记号: 97217; 5, 7. 广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号: QN208, QN205; 登记号: 97218, 97219; 6. 广西临桂五通上奥陶统田岭口组。野外号: B₄-14121-A₂₆; 登记号: 97220。
4. *Pararetiograptus sinensis* Mu 广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号: QN205; 登记号: 97221。
- 8, 16. *Amplexograptus disjunctus yangtzensis* Mu et al. 广西临桂上奥陶统田岭口组。野外号: B₃-14127-A₇; 登记号: 97222, 97223。
9. *Orthograptus intermedius* Elles and Wood 广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号: QN206; 登记号: 97224。
10. *Amplexograptus suni* (Mu) 产地和层位同前。野外号: QN207; 登记号: 97225。
11. *Orthograptus* cf. *amplexicaulis* (Hall) 江西崇义古亭上奥陶统。野外号: 8340-03; 登记号: 97226。
12. *Climacograptus longispinus hvalross* Ross and Berry 广西临桂五通上奥陶统田岭口组。野外号: B₃-14118-A₁; 登记号: 97227。
13. *Dicellograptus tenuiculus* Mu et al. 广西兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号: QN208; 登记号: 97228。
- 14, 15. *Climacograptus latus* Elles and Wood 广西临桂五通及兴安田岭口上奥陶统田岭口组。野外号: B₃-14121-C₁, QN208; 登记号: 97229, 97230。

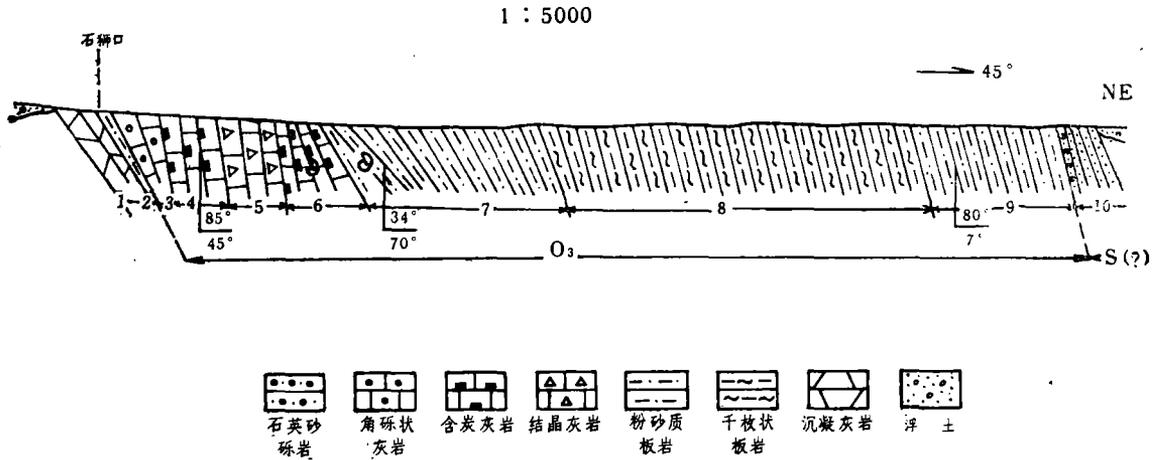


插图3 江西崇义古亭石狮口晚奥陶世地层剖面图
Section of the Late Ordovician strata of Shishikou, Guting, Chongyi, Jiangxi

- 但难以进一步鉴定属种。 47m
 - 4. 灰黑、黑色中至厚层含炭灰岩。 38m
 - 3. 灰白、灰色中厚层角砾状灰岩。 30m
 - 2. 灰、灰绿色粉砂质板岩。 7m
 - 1. 深灰、灰黑色中厚层凝灰岩。 20m
- 掩盖——

从上述剖面所含笔石来看，高草地组的时代大致相当五峰期 *Dicellograptus szechuanensis* 带 (W₂)。

3. 浙西江山长坞：该地为长坞组的标准地点。长坞组为卢衍豪、穆恩之等 (1955) 创立，为黄绿色页岩夹砂岩薄层，厚 280m，含笔石 *Dicellograptus cf. complanatus* Lapworth, *Orthograptus cf. abbreviatus* Elles and Wood, *Climacograptus* spp.; 三叶虫 *Geragnostus?*, *Ampyx*, *Phylacops* 等；介形虫 *Primitia*, *Conchoprimitia?* 等。最近韩乃仁采获了笔石 *Climacograptus* sp. (插图 2)，三叶虫 *Corrugatagnostus*, *Cyclopyge*, *Telephina* 和 *Ampyxinella*，腕足动物 *Eospirigerina*, *Kassinella*, *Christiania*, *Sowerbyella*, *Strophomena*, *Oxoplecia* 和 *Phynchotrema* (戎嘉余鉴定)，上述笔石等的发育，说明长坞组的时代也属于五峰期 *D. szechuanensis* 带 (W₂)。

分布在临安于潜、昌化，安吉孝丰，德清武康及淳安临歧一带的于潜组，所含笔石动物群

主要是 *Dicellograptus ornatus* Elles and Wood, *Climacograptus aff. longispinus supernus* Elles and Wood, *C. aff. angustus* (Perner), *Orthograptus abbreviatus* Elles and Wood, *Paraorthograptus* sp. 和 *Amplexograptus* sp. (浙江省区域地层表编写组，1979)，看来也属 *D. szechuanensis* 带 (W₂)。

生物相、岩相与共相带分析

相 (facies) 的概念早在 1838 年已由 Gressly 提出，用以区别同一地质时期的不同岩石类型和生物群。他的这一概念是基于对瑞士三叠系和侏罗系研究的基础上得出的。由于他提出这一相的概念反映了岩石形成和生物生活的环境条件，因此，一百多年来仍然行之有效。Dunbar 和 Rodgers (1957) 将上述相的定义引伸，认为相的概念包括地层单位内岩石和生物两者的面貌，因而提出了生物相 (biofacies) 和岩相 (lithofacies)。前者代表一些大的生物组合或生物群的区域面貌，后者代表一些岩石组合的区域面貌。可见这两种相是密切相关和互为条件的。Warme 和 Häntzschel (in Fairbridge and Jablonski, 1979) 指出，生物相是物种的一种特定组合，以反映它们对外界环境的适应性，因

此,生物相是用以对动物群和它们环境的一种生态上的解释。在陆表海域(epicontinental sea)不同的岩相经常作条带状排列,并与生物相的分布重合或部分重合,在地质历程中尽管会发生一些周期性的变化,但总保持在大致相同的地域内,这在以陆表海为主要海域的奥陶纪尤为明显。因此,Jaanusson (1976)提出了共相带(confacies belt)来概括这种岩相和生物相的复合特征。他首先把共相带应用于波罗的海地区奥陶系的研究,后来又应用到美国阿巴拉契亚山脉的奥陶系,并以地名来命名不同的共相带。Jaanusson 的每个共相带包括一种或多种同时期的岩相,在大多数的共相带中都存在与岩相有关的次一级的动物群分异(faunal differentiation),亦即生物相的变化。因此,共

相带就明显地反映了受环境因素控制的生态分带性(ecologic zonation),而这些环境因素同样也影响沉积状态(depositional conditions),这些起控制作用的环境因素可以是水深和水温等(Jaanusson and Bergstrom, 1980; Jaanusson, 1982)。穆恩之(1974)提出了笔石动物群的生态分异(graptolite ecological differentiation),他指出同时期的各种不同笔石分别出现于各种不同的沉积环境;认为我国不同类型的笔石动物群,是由于笔石的不同生活方式适应各种环境而进行分异的结果。他最近(1984)进而提出奥陶纪笔石动物群有三次生态分异,晚奥陶世的一次为中等程度(moderate)。从上述讨论中不难看出,Dunbar 和 Rodgers (1957)的生物相以及 Jaanusson (1976)的次级动物群

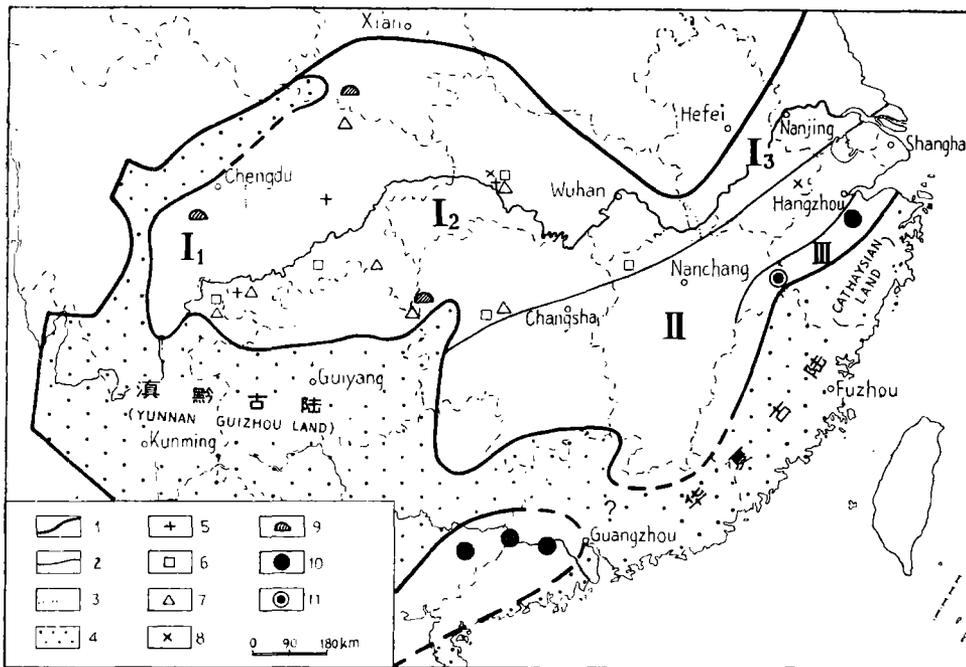


插图 4 华南五峰期共相带

Wufengian confacies belts of South China

1. 华南板块边界 (Border of South China Plate) 2. 共相带边界 (Border of confacies belt) 3. 岩相带边界 (Border of lithofacies belt) 4. 古陆 (Old land) 5. *Pleurograptus* 6. *Tangyagraptus* 7. *Yinograptus* 8. *Diceratograptus* 9. *Triarthrus* 10. *Sowerbyella* 11. *Tcherskidium-Sowerbyella*.

I 扬子共相带(广布的笔石动物群分子不再标出) Yangtze Confacies Belt (worldwide graptolites are not indicated) I₁ 川西南泥灰岩相 (SW. Sichuan Marl facies) · I₂ 上扬子黑色笔石页岩相, (Upper Yangtze Black graptolite shale facies) I₃ 下扬子笔石页岩、硅质岩相 (Lower Yangtze graptolite shale and chert facies) II. 湘皖共相带 (Xiangwan Confacies Belt) III 浙赣共相带 (Zhegan Confacies Belt)

分异和穆恩之的生态分异的概念是基本一致的。

华南五峰期的动物群分布在三面为古陆包围的海盆中，向北则面临广海。北面中朝古陆的边界线是华南板块和塔里木-中朝板块聚合后的边界，尽管华北在晚奥陶世是古陆，但当时却离开华南板块，因而不是封闭华南海盆的北方古陆。

华南五峰期可以划分为三个共相带，即扬子共相带 (I)、湘皖共相带 (II) 和浙赣共相带 (III)。扬子共相带包括长江流域；湘皖共相带包括桂东北、湘南、湘中，江西大部分、皖南和浙西北；浙赣共相带位于华夏古陆的西缘，包括自浙西诸暨沿浙赣铁路沿线。扬子共相带是

以富含地区性分子和高分异的五峰笔石动物群为特征。但从岩相上分析，自西而东则可以分为三个岩相带，即：川西南泥灰岩相带 (I₁)，上扬子黑色笔石页岩相带 (I₂)，下扬子笔石页岩、硅质岩相带 (I₃)。湘皖共相带是由一种生物相，即含有一个低分异度全球广布的笔石动物群，它的分布范围与复理石岩相带重合。浙赣共相带以底栖壳相动物群为特征，个别地点有全球广布的笔石分子，岩性上以碎屑岩相为特征，局部地区为台地型的碳酸盐岩或碳酸盐岩丘。这一共相带也只包含一个生物相和岩相带，二者在分布范围上重合(插图 4)。

(一) 扬子共相带

五峰期地区性分子最多，分异度最高的笔

| | 扬子共相带 (Yangtze Confacies Belt) | | | 湘皖共相带 (Xiangwan Confacies Belt) | 浙赣共相带 (Zhegan Confacies Belt) | 云开地区 (Yunkai area) |
|---|-----------------------------------|----------------|----------------|--|--|--------------------------|
| | I ₁ | I ₂ | I ₃ | II | III | IV |
| 22. <i>Triarthrus</i> | | | | | | |
| 21. <i>Pleurograptus tui</i> | | | | | | |
| 20. <i>Dicellograptus anceps</i> | | | | | | |
| 19. <i>Tangyagraptus typicus</i> gr. | | | | | | |
| 18. <i>Climacograptus venustus</i> gr. | | | | | | |
| 17. <i>C. hastatus</i> gr. | | | | | | |
| 16. <i>Paraorthograptus uniformis</i> gr. | | | | | | |
| 15. <i>Neurograptus</i> | | | | | | |
| 14. <i>Nymphograptus</i> | | | | | | |
| 13. <i>Arachniograptus</i> | | | | | | |
| 12. <i>Plegmatograptus</i> | | | | | | |
| 11. <i>Phormograptus</i> | | | | | | |
| 10. <i>Yinograptus disjunctus</i> gr. | | | | | | |
| 9. <i>Paraorthograptus pacificus</i> gr. | | | | | | |
| 8. <i>Diceratograptus mirus</i> | | | | | | |
| 7. <i>Paraplegmatograptus</i> | | | | | | |
| 6. <i>Pararetiograptus sinensis</i> gr. | | | | | | |
| 5. <i>Dicellograptus turgidus</i> gr. | | | | | | |
| 4. <i>Amplexograptus disjunctus</i> gr. | | | | | | |
| 3. <i>Climacograptus longispinus</i> gr. | | | | | | |
| 2. <i>Dicellograptus complanatus</i> gr. | | | | | | |
| 1. <i>Orthograptus truncatus</i> gr. | | | | | | |
| 1. <i>Sowerbyella</i> | | | | | | |
| 2. <i>Tcherskidium</i> | | | | | | |
| 3. <i>Strophomena</i> | | | | | | |
| 4. <i>Eospirigerina</i> | | | | | | |
| 5. <i>Corrugatagnostus</i> | | | | | | |

插图 5 华南不同相带五峰期动物群的分异度

Diversities of the Wufengian faunas in different facies belts of South China

石动物群分布在上扬子黑色笔石页岩相带内 (I_1), 这个区域的西南缘在威远、峨眉一线, 其东南缘沿湘中安化至赣西北修水一线, 其它边界与扬子地台的边界基本一致。这个地区的五峰期笔石动物群除了包括一些全球广布的分子之外, 还包括大量地区性的种属, 如果我们把二者用特征的种 (species), 同类组的种 (specific group) 以及一些特殊的、只包括单个或极少数种的属作一统计, 便可看出这一相带含有五峰期分异度最高的笔石动物群, 也是全世界同时期分异度最高的笔石动物群相带(插图5)。这个分异度最高的五峰期动物群, 正好分布在黑色笔石页岩相代表的一种台地上的静水海盆中。根据戎嘉余 (1984) 对 *Foliomena* 腕足动物群 (BA4—5) 及 *Hirnantia* 动物群 (BA2—3) 的生态群落分析, 五峰组的含笔石黑色页岩和硅质层, 应该指示 BA3—4 的深度环境(陈旭、丘金玉, 1986)。形成这种特殊的岩相和高分异度笔石动物群的原因, 可以归纳为:

1. 半封闭海盆或海湾、潟湖的古地理位置。这种环境位置利于形成还原的滞流水体。在这种水体的底部由于缺氧而使底栖生物绝迹, 只有少数漂浮的无铍纲腕足动物, 自游的三叶虫 (*Triarthrus*)。这些漂浮和自游的腕足动物和三叶虫, 和漂浮的笔石动物、放射虫等生活在水体的上层。三叶虫 *Triarthrus* 见于四川洪雅、贵州松桃和陕西南郑, 这些正是近岸的古陆边缘部位。生活在水体上层的笔石死亡后沉落海底, 由于无底栖动物的生物破坏和动荡水体的机械破坏作用而得以良好保存, 显得特别富集。

2. 晚奥陶世, 特别是到了末期, 上扬子海的三面均有陆地露出水面(穆恩之等, 1981)。这些陆地上的水系向上扬子海盆排注淡水, 从而使上扬子海盆获得比以前更多的淡水, 形成淡化表层水, 这也有利于隔绝上扬子海盆下部的还原、滞流水层。

3. 上扬子海盆在晚奥陶世五峰期, 发育台地较深水、静水条件下的沉积, 沉积速率很低。据笔者对上扬子台地五峰组 46 个剖面的资料

统计, 平均厚度为 7.72m。这一岩相带的岩性均一, 横向上几乎没有什么变化, 都是一套黑色硅质、含炭页岩和硅质层, 硅质层常具水平纹层, 水动力条件极弱。穆恩之 (1974) 特别强调水体的静度, 认为影响生物的环境因素很多, 对笔石动物来说, 海水的静度是主要的。上扬子台地这样一种特殊的台盆静水条件, 特别有利于高分异度、具有地区性分子的笔石动物群生存。

自上扬子向西南, 黑色笔石页岩相带 (I_1) 则相变为另一个岩相带, 即川西南泥灰岩相带 (I_2)。分布于威远、峨边以西一隅。在大渡河下游为一套泥灰岩夹含黑色笔石页岩薄层的地层, 即大渡河组(骆耀南、杨光荣, 1965)。在横向上该组岩性变化很快, 在局部地区泥灰岩尖灭, 但普遍有含锰层(特别是洪雅、汉源两县境内), 向南至美姑、雷坡则见有碎屑岩。这都说明是一种陆缘浅海或海湾的浅水沉积。总之, 川西南岩相带相对上扬子岩相带而言, 是一种浅水较动荡、较高能的环境。在表层水中, 扬子共相带中的地区性分子, 特别是那些笔石体复杂化、网格化的分子减少, 全球性广布的分子占有更高的比例。

自上扬子向东至下扬子流域皖中、苏南一带, 黑色笔石页岩相带 (I_2) 虽然一直沿用五峰组一名, 但岩性已有较明显的变化, 成为一套灰色的硅质层和硅质页岩, 普遍含粉砂质。其中的地区性的笔石分子自西而东不断减少, 笔者将它划为另一个岩相带 (I_3), 以便与标准的五峰组岩性区别开来。

(二) 湘皖共相带

上扬子黑色笔石页岩相带向东南方向至修水、桃源、安化一线已达到边缘。此线以南则明显转变为湘皖共相带 (II), 为复理石沉积。沉积厚度明显加大, 其中只有少量全球广布的笔石分子。仅在个别地点(安徽宁国), 见有上扬子岩相带 (I_2) 中特有的分子, 如 *Diccratograptus*。这一笔石最近在加拿大西部育空地区同时代地层中被发现 (Chen and Lenz, 1984), 因

而它已不完全是上扬子共相带中特有的地区性分子。尽管从笔石相、壳相的大范畴来看, 湘皖共相带仍然是泛指笔石相的范畴, 但已是两个在组分和分异度上大不相同的笔石动物群。从上述生物相的概念出发, 生物相本身就是动物群物种的特定组合, 并反映它们对外界环境的适应性, 代表动物群的分异, 因此已属不同的生物相。导致湘皖共相带只有少数全球广布分子组成的低分异度笔石动物群, 主要有两个方面的因素:

1. 快速沉积的高能环境。湘皖复理石岩相带(II)虽然沉积厚度很大, 但并不说明海盆水体的深度大, 相反却是一种浅水的快速沉降和快速沉积(边沉积边沉降)的环境。崇义古亭在高草地组含五峰期笔石层位之下的古亭组, 便是浅海的碳酸盐岩沉积, 以至珊瑚等底栖动物得以生存。魏秀喆等(1984)称之为“古亭潮下坪”, 当然, 这一命名尚值得商榷, 但反映潮下环境大致是对的, 说明晚奥陶世的湘皖海盆在赣南也并不很深。湘皖海盆的巨厚复理石沉积本身, 一方面说明是快速沉积, 另一方面说明盆地也必须同时快速沉降, 否则海盆很快就会被填满。在这样一种水体动荡的盆地中, 只能适应在上扬子宁静水体中的地区性分子已不能生存, 只有少数全球广布的分子才能适应。因为这些笔石的忍耐度(Tolerance)较大, 不是狭温性和狭盐性的分子, 或者抵抗风浪的强度结构较大, 因而得以生存。从全球范围来看, 这些广布的分子如 *Dicellograptus complanatus* group, *Orthograptus amplexicaulis* group 和 *Climacograptus longispinus* group 等, 不仅能适应上述华南浅水动荡水体, 甚至浊流和复理石沉积的环境, 也能适应北美阿巴拉契亚北部同时期三角洲的沉积环境(Berry, 1977), 又能适应澳大利亚塔斯马尼亚地槽(Victoria)具浊流的复理石沉积环境(Hills and Thomas, 1953); 同样也能适应苏格兰南部晚奥陶世深海盆地的环境。

2. 水体的混浊度不同。在湘皖复理石岩相

带(II), 水体中因含有粉砂和粘土微粒而混浊, 不利于上扬子的地区分子, 特别是那些复杂化的笔石生活。Hills 和 Thomas (1953) 在研究澳大利亚东南部 Victoria 州的笔石相地层时就提出, 生活在水体表层的全局广布分子, 可能会因为动荡的水体中含有粉砂和粘土的微粒而致命, 并与其它粉砂和粘土微粒一起沉入海底。早在 1950 年, Kuenen 和 Migliorini 曾在水库中作过浊流的实验, 发现沿水底活动的浊流同样也向上扩散, 它们并以浊流的原理来解释复理石沉积特征。

1984 年春, 赵祥麟、林尧坤、杨达铨与笔者之一(陈旭)同去观察浙北临安上骆家上奥陶统于潜组的浊流沉积, 发现那里厚度超过 1000m 的于潜组的复理石沉积, 由一系列不连续的砂页岩旋回组成, 每个旋回一般不超过 10m, 构成不完整的布玛序列(Bouma sequence), 晚奥陶世上述那些全球广布的笔石偶见于非浊流的页岩薄层中。Mutti 和 Ricci Lucchi (1972), Walker 和 Mutti (1973), 以及 Ricci Lucchi (1975) 把水下沉积扇分为 7 种相(A 到 G)(见 Howell and Normark, 1982), 于潜组的这套复理石沉积很可能接近他们的 C 相和 D 相, 以粗至细粒砂岩或薄层砂泥岩互层为特征, 砂岩成板状, 侧向稳定, 砂岩的粒度递变属于布玛序列的上部。依笔者观察, 不仅是浙西的于潜组, 赣西南的石口组及桂北的田岭口组也属于这种岩相, 只是于潜组发育得更为典型一些, 不仅有典型的布玛序列和一些特征的沉积构造, 如槽模等, 而且亦有 *Granularia yuqianensis*, *Helminthopsis tumluensis*, *Paleodictyon* cf. *inperfectum* 和 *Chondrites* 等遗迹化石(杨式溥, 1986)。据杨式溥教授面告, 这些遗迹化石不仅限于深水相的大陆斜坡, 在盆地斜坡部位也可发育。

综上所述, 扬子共相带内部虽然在不同岩相带之间也有笔石动物群上的差异, 但只是数量上的、不同程度上的差异。而扬子共相带与湘皖共相带之间的差异则是有质上的差异, 这种环境上的质的差异, 正是导致笔石动物群分

异的因素。

(三) 浙赣共相带

浙赣共相带在岩相上横向变化较大,主要有两种沉积类型,一种是细粒碎屑岩沉积(长坞组),另一种是台地型的碳酸盐岩沉积(三衢山组)。后者是典型的浅水台地型碳酸盐岩及泥岩,含生物礁、生物层,其中的腕足动物代表两个同时期的群落:*Tcherskidium* 群落和 *Sowerbyella-Zygospira* 群落,指示底栖生态组合 2—3 潮下带上部的深度环境。前者在台地之间,为以长坞组代表的碎屑岩相,含有少量全球广布的笔石动物群分子。值得注意的是在两广交界的云开地区,发育了一套巨厚的碎屑岩(三尖群),其中含有少量的腕足动物 *Sowerbyella* 和 *Strophomena?* 等(中南地区区域地层表编写小组,1974),它与浙赣共相带之间可能为古陆所隔。因为在粤北、桂中普遍缺失晚奥陶世沉积。笔者在本文中可将这一可疑的缺失区,部分用虚线标出。由于这些地区后期构造破坏剧烈,尚待进一步开展地层工作,才能提供确切的证据。

黑色页岩与缺氧环境

早古生代的黑色页岩早就被地质学家们所注意。Clarke (1904) 提出早古生代的黑色页岩相的模式和现今的黑海相似,代表一种深水滞流盆地中的沉积。Grabau (1917, 1929) 认为黑色页岩根本上是一种潟湖类型的沉积,在地质历史中曾广泛分布。他认为含笔石的页岩可以是一种台地的潮间的泥质沉积。Twenhofel (1939) 认为广布的黑色页岩相是陆棚浅水的黑色泥质沉积,当时可能是潮间范围小,而且陆地地势也低洼的环境条件。Ulrich 和 Ruedemann (1911) 认为含笔石的黑色页岩由 200m 以下具有毒水体的海底的黑色软泥而成。Ruedemann (1947) 认为在此有毒水体之上的表层水是富氧的。Strom (1939) 认为深水滞流的富含有机质软泥,是在缺氧状态下沉积的。他提出在近岸深水盆地的滞流和充氧机制,认为

笔石黑色页岩(泥岩)不仅形成于被陆地包围的水体,而且也形成于具有相似条件的大范围的海盆,甚至洋盆中。他指出在现今大西洋的热带范围内,水深 50—1200m 之间是缺氧的(anoxic)。

Berry 和 Wilde 把 Strom (1939) 的结论和地质历史中气候的变化结合起来,提出了他们海水充氧(ventilation)的假说(Berry and Wilde, 1978; Wilde and Berry, 1982)。他们认为在古生代极区有冰盖的时期,气候分带明显,高纬度的深层冷水向低纬度运移,从而使广大海洋盆地的深层水都得到充氧。当极区无冰盖时期,气候温暖,无明显的纬向气候分带,环流减弱,因此黑色页岩广泛分布。从全球范围来看,奥陶纪黑色页岩分布最广泛的时期是 Caradoc 期,在我国华南当时沉积了胡乐组和庙坡组的黑色页岩,志留纪黑色页岩分布最广的时期在 Llandovery 早期,在我国华南当时沉积了龙马溪组下部的黑色页岩和连滩组下部的黑色页岩。Leggett (1980) 认为 Caradoc 期和 Llandovery 早期黑色页岩的广布与全球性的海侵有关。因为全球性的海侵,带来陆棚浅海海洋生物的大繁盛,因而消耗了下部水层的氧分,促使海洋下层水缺氧,而利于黑色页岩广布。五峰期的黑色页岩是十分独特的,但即使如此,在奥陶纪末南极冰盖凝聚达到高潮,上扬子的黑色页岩也一度缩小甚至消失,出现了 *Hirnantia-Dalmanitina* (HD) 壳相动物群。

在地球形成之初,海洋中几乎是没有氧气的,只有当大气圈中出现了氧,海洋中出现生命物质,开始了光合作用,由于风力的搅动,在古海洋的表层水中才开始充氧。但是相对陆地上的淡水盆地而言,海洋盆地还是缺氧的。现代海洋学的研究,推动人们去认识和解释海洋的深层水中的充氧。在有冰川活动的地质时期,高纬度地区的冷水首先成为富氧的水体,这种富氧的冷水下沉并在海洋深处向赤道方向运移,致使中低纬度海洋盆地的深层水中也得以充氧。含氧的深层水向上扩散,可以使中层水

体自下而上逐渐得以充氧。但是从表层水中不断沉落的有机物(包括动植物尸体)的腐烂和分解又消耗了中层水体中得到的少量氧份,使之再度成为缺氧的水层。表层水中的有机物向海底沉落是一个缓慢的过程,除了水柱深度之外,还有洋流的干扰。据 Kennett (1982) 估计,绝大多数漂浮的有孔虫,在实验室中沉落的速度为 2cm/秒,因此沉至洋底亦需要一、两天;粪粒 (fecal pellets) 沉落速度大约 40—400m/天,因此,粪粒要沉入 5000m 深的洋底大约需要一个多月;但是最小的颗石藻 (coccolith) 沉至这样深度的洋底却要 100 年。鉴于表层水有机物微粒沉落缓慢,因此就为它们在中层水中分解提供了充分的时间。综上所述,作为全球性海洋盆地的一般模式,包括三个不同深度的水层:表层水由于风力搅动而充氧;深层水由于冰期高纬度富氧冷水下沉和移动而充氧;中层水为缺氧状态。

富氧的表层水的下限或缺氧层的上限,即含氧最低值的深度面 (depth of oxygen minimum),和密跃层 (pycnoline) 的界面大体一致,这个深度在地质历史中也是变动的。在极区有冰盖的时期,由于气候分带明显,极区和赤道的温差大,因此,风力和波浪,甚至风暴活动都相对活跃,这样表层水的含氧量亦相对更大一些。相反,在极区无冰盖时期,气候分带不显,风力和波浪运动都小,表层水中含氧量下降,含氧最低值的深度面就相对上移到浅水层中。在同一时期不同纬度的海盆中,含氧最低值也不在同一深度面上。一般来说,近赤道的低纬度地区这个深度面要比近极区高纬度的要高。

华南五峰期的海盆在当时处于中纬度地区,加上它三面为古陆包围,因此,风浪的作用很小。特别在上扬子海更是一片静水,表层水的充氧虽然没有强烈的风力搅动促进,却有三面陆地上淡水的注入,富氧的淡水注入同样可以造成这一局限海盆表层水的充氧。因此,五峰期扬子海的表层水仍是富氧的,生活着丰富的笔石动物群、放射虫和少量的浮游无铍腕足

动物,以及自游的三叶虫。这种台地上的局限海盆和开阔海不同,海盆深度不超过 200m,因此,来自高纬度的深层水自下而上的充氧过程,在华南海盆中并不存在。而只有表面富氧水层和缺氧水层两层。至五峰期末期,全球性海平面下降达到最大值,华南海盆亦达到最浅的部位,由于此时极区和赤道的温差最大,气候分带明显,风力搅动加强,这也可能是表层水充氧的一个辅助因素。故全球性海平面下降,使海底面相对升高,淡水注入和风力搅拌又使含氧最低值深度面下降,这些因素的配合,使扬子海不少地点的海底在此时已达到表层富氧水深度范围之内,因而发育了 HD 动物群。除丰富的腕足动物和三叶虫之外,还有自游的小型直角石 *Pleurorthoceras* (邹西平, 1985), 以及海百合、翼鳃类、软舌螺等。在海平面下降过程中,古陆边缘地带最早进入富氧环境,黔中古陆边缘的遵义、松桃等地,在 *Tangyagraptus typicus* 带 (W_3) 后即转为 HD 动物群生活的富氧环境。而盆地中央地区,如桐梓至宜昌一带则到最后的 *Diplograptus bohemicus* 带 (W_6) 时期才出现 HD 动物群。

Berry 和 Wilde (1978) 还注意到了在陆棚和大陆斜坡海域中常出现的上升流 (upwelling), 因为上升流可以在一个局部地区改变缺氧层的顶面,并使之上升,在一个短暂的时间间隔中使得原来某些富氧深度环境暂时改变为缺氧环境。从而可以造成这一地区在这一时间间隔中大量漂浮生物的“突然死亡”。这就解释了少数地区含笔石地层中,笔石为什么只集中在一些特定的薄层中,而它们之间却被不含化石的地层分隔着。苏格兰南部上奥陶统的 Upper Hartfell 页岩, *D. complanatus* 带只有 2 个含笔石薄层 (band) 组成, *D. anceps* 带只有 5 层,而 *C. extraordinarius* 带则只有 1 层 (Williams, 1982)。我国华南湘皖海槽也有类似的情况,巨厚的复理石沉积中,仅只有少数几层薄层笔石页岩,有可能是广海中的洋流上升,把缺氧的环境暂时带到陆棚海域上来。由于当时处于冰期,上

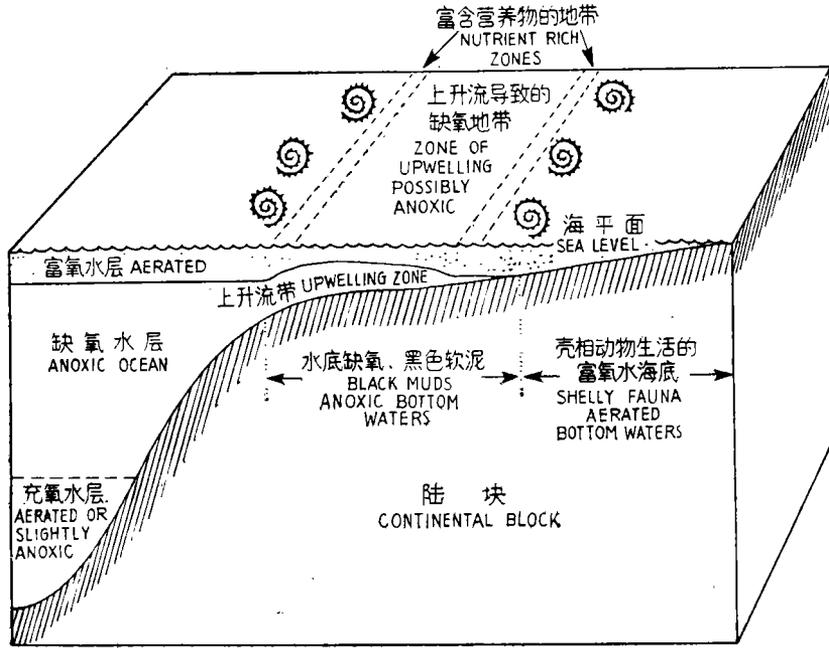


插图 6 早古生代无冰期冰盖时期陆棚区上升流和缺氧/富氧水层的状态
(据 Berry 和 Wilde, 1978)

Upwelling and onoxic / aerated water conditions across Lower Paleozoic continental shelves during non-glacial intervals (after Berry and Wilde, 1978).

升流扩大, 缺氧水范围较小, 但在台地间的槽盆中则比较容易形成。为了便于了解, 笔者将 Berry 和 Wilde (1978) 的模式图附于文中(插图 6), 在上升流造成的暂时缺氧地区的两侧, 则是有利于笔石生活的地带(富含营养物)。当然这一模式图指的是从大陆斜坡到陆棚的理想剖面, 对我国华南晚奥陶世台上的凹陷或海槽(湘皖海槽)的不连续的笔石地层, 或间断性的含笔石薄层, 提供了一种环境上的推测。但上扬子台地连续的含笔石黑色页岩则与之不同。从地层对比价值的角度来看, 像苏格兰南部和华南湘皖海槽的这种不连续笔石薄层, 显然是不能作为对比标准的。也正因为上扬子台地有这种特定的连续的笔石页岩沉积环境, 我们才能获得同时期内全世界最完全的笔石带, 从而得以树立全球性的对比标准。

影响海洋的充氧过程还有其它因素。Ar-

thur 和 Natland (1979) 注意到在现今南、北纬度 30° 的地带, 在陆地上集中了大的沙漠, 在海洋中则有强烈的蒸发作用(如地中海和一些含马尾藻的海盆), 这些海盆中暖而含盐度较高的水, 因比重较大而下沉, 这也或多或少对其下的缺氧水层带来一些氧气。但是暖水中本身的含氧量就小于冷水, 因此不如前述高纬度冷水层下沉运移的充氧作用那样有效。Berry, Wilde 和 Hunt (1985) 还注意到在秘鲁、哥斯达黎加和阿拉伯海北部的现今海域中, 海水 100m 深处硝酸盐取代氧而成为主要的氧化剂。氮化物可以抑制硫的还原和抑制 H_2S 的产生。再向海水深处, 又因底层水的充氧作用而产生脱氮作用(denitrification), 因此氮的还原层就只限于富氧表层水和缺氧的中层水之间的一层。当然, 这在古海洋盆地中是否存在, 尚待进一步验证。

参 考 文 献

- 中南地区区域地层表编写小组, 1974: 中南地区区域地层表。地质出版社。
- 云南省区域地层表编写组, 1978: 西南地区区域地层表, 云南省分册。地质出版社。
- 卢衍豪、穆恩之、侯祐堂、张日东、刘第塘, 1955: 浙西古生代地层新见。地质知识, 1955, 2期, 1—6页。
- 汪啸风、曾庆奎、周天梅、倪世钊、徐光洪、孙全英、李志宏、项礼文、赖才根, 1983: 长江三峡东部地区奥陶纪晚期与志留纪初期的化石群并兼论奥陶系与志留系界线问题。中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 6期, 95—163页。
- 刘义仁、傅汉英, 1984: 湖南安化上奥陶统五峰组 *Tangyagraptus typicus-Yinograptus disjunctus* 带 (W₃) 的笔石。古生物学报, 23卷, 5期, 642—648页。
- 刘第塘、陈旭、张太荣, 1964: 四川北部南江早古生代地层。中国科学院地质古生物研究所集刊, 地层文集第一号, 161—170页。
- 戎嘉余, 1984: 上扬子区晚奥陶世海退的生态地层证据与冰川活动影响。地层学杂志, 8卷, 1期, 19—29页。
- 张文堂, 1962: 中国的奥陶系。全国地层会议学术报告汇编。科学出版社。
- 陈 旭, 1986: 论卷笔石 (*Streptograptus*) 及其古生态。中国古生物学会第13、14届学术年会论文集。115—142页。安徽科学技术出版社。
- , 丘金玉, 1986: 宜昌奥陶纪古环境演变。地层学杂志, 10卷, 1期, 1—15页。
- , 杨万容、何自强、汪盛辉, 1981: 广西兴安奥陶纪含笔石地层。地层学杂志, 5卷, 1期, 36—45页。
- 李春昱、王荃、刘雪亚、汤耀庆, 1982: 亚洲大地构造图说明书。中国地质科学院地质研究所。
- 李积金, 1984: 皖南晚奥陶世地层及其与国内外的对比。中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 20期, 113—144页。
- , 1984a: 皖南上奥陶统新岭组的笔石。中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 20期, 145—194页。
- 杨式溥, 1986: 我国浊流沉积复理石相的遗迹化石及其古生态和古环境。中国古生物学会第13、14届学术年会论文集, 143—166页。安徽科学技术出版社。
- 杨达铨, 1983: 浙江西北部上奥陶统上部的笔石。古生物学报, 22卷, 6期, 597—605页。
- 邹西平, 1985: 安徽泾县上奥陶统五峰组鸚鵡螺化石。古生物学报, 24卷, 6期, 605—614页。
- 俞剑华, 1976: 江西修水流域的奥陶系。南京大学学报(自然科学版), 1976, 2期, 57—77页。
- 贵州省地层古生物工作队, 1977: 西南地区区域地层表, 贵州分册。地质出版社。
- 浙江省区域地层表编写组, 1979: 华东地区区域地层表, 浙江省分册。地质出版社。
- 陕西省区域地层表编写小组, 1983: 西北地区区域地层表, 陕西省分册。地质出版社。
- 骆耀南、杨光荣, 1965: 大渡河下游地区上奥陶统的发现。地质论评, 23卷, 2期, 88页。
- 穆恩之, 1945: 五峰页岩中之笔石。中国地质学会志, 25卷, 201—209页。
- , 1954: 论五峰页岩。古生物学报, 2卷, 2期, 153—170页。
- , 1974: 正笔石及正笔石式树形笔石的演化、分类和分布。中国科学, 1974, 2期, 174—183页。
- , 1980: 中国奥陶纪笔石序列及生物地理分区。国际交流地质学术论文集, 4卷, 地层古生物, 35—42页。地质出版社。
- , 1983: 中国奥陶纪生态地层的类型与生物地理区。古生物学基础理论丛书编委会: 中国古生物地理区系。16—31页。科学出版社。
- , 李积金、葛梅钰、陈旭、倪寓南、林尧坤, 1981: 华中西南区晚奥陶世古地理图说明书。地层学杂志, 5卷, 3期, 165—170页。
- 魏秀喆, 1984: 江西省区域地层志, 第一篇: 地层。中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第2号, 1—331页。地质出版社。
- Arthur, M. A. and Natland, J. H., 1979: Carbonaceous sediments in the North Sea and South Atlantic: The role of salinity in stable stratification of Early Cretaceous Basins. In Talwani, M., Hay, W., and Ryan, B. F. (ed.), Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean, Continental Margins and Paleoenvironments. Maurice Ewing Series 3, Amer. Geol. Union: 375—401.
- Berry, W. B. N., 1977: Ecology and age of Graptolites from Graywackes in Eastern New York. -Jour. Pal., 51 (6): 1102—1107.
- , and Wilde, P., 1978: Progressive ventilation of the oceans—An explanation for the distribution of the Lower Paleozoic black shales. -Amer. Jour. Sci., 278: 257—275.
- , ——, and Hunt, M. Q., 1985: The Graptolite habitat: An oceanic nonsulfide low oxygen zone? Abstracts for 3rd International Graptolite conference. Aug. 1985. Copenhagen: 5—6.
- Chen Xu and Lenz, A. C., 1984: Correlation of Ashgill Graptolite faunas of Central China and Arctic Canada, with a Description of *Diceratograptus* cf. *mirus* Mu from Canada. -Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Ordovician-Silurian Boundary (1): 247—258. Anhui Science and Technology Publishing House.
- Clarke, J. M., 1904: Naples fauna in western New York, pt. 2. -Albany, New York State Mus. Mem. 6, 454 pages.
- Dunbar, C. O. and Rodgers, J., 1957: Principles of Stratigraphy. 杨遵仪、徐桂荣译, 1974. 地质出版社。
- Ge Mei-yu, 1984: The Graptolite Fauna of the Ordovician-Silurian Boundary Section in Yuqian, Zhejiang. Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Ordovician-Silurian Boundary (1): 389—454. Anhui Science and Technology Publishing House.
- Grabau, A. W., 1929: Origin, distribution, and mode of preservation of the graptolites. -Natl. Research Inst. China. Mem., 7. 52 pages.
- , and O'Connell, M., 1917: Were the graptolite shale, as a rule, deep or shallow water deposits? -Geol. Soc. Amer. Bull., 28: 959—964.
- Hills, E. S., and Thomas, D. E., 1953: Turbidity currents

- and the Graptolitic facies in Victoria. -*Jour. Geol. Soc. Australia*, 1: 119—133.
- Howell, D. G., and Normark, W. R., 1982: Sedimentology of Submarine Fans. In Scholle, P. A., and Spearing, D. (ed.), *Sandstone Depositional Environments*, 365—404. Amer. Assoc. Petro. Geol. Tulsa.
- Jaanusson, V., 1976: Faunal Dynamics in the Middle Ordovician (Viruan) of Balto-Scandia. In Bassett, M. G. (ed.), 1976, *The Ordovician System: Proceedings of a Palaeontological Association Symposium*, Birmingham: 301—326.
- , 1982: Introduction to the Ordovician of Sweden. In Bruton, D. L., and Williams, S. H. (ed.), 4th. *International Symposium on the Ordovician System. Field Excursion Guide*: 1—9.
- , and Bergstrom, S. M., 1980: Middle Ordovician faunal spatial differentiation in Baltoscandia and the Appalachians. *Alcheringa*, 4: 89—110.
- Kennett, J., 1982: *Marine Geology*. Prentice-Hall INC. 813 pages.
- Leggett, J. K., 1980: British Lower Palaeozoic black shales and their palaeoceanographic significance -*Jour. Geol. Soc.*, 137 (1): 139—156.
- Mu En-zhi, 1984: Developmental stages of Graptolites and Stratigraphic boundaries. *Academia Sinica Developments in Geoscience Contribution to 27th. International Geological Congress. 1984. Moscow*: 79—85. Science Press. Beijing.
- , and Lin Yao-kun, 1984: Graptolites from the Ordovician-Silurian Boundary sections of Yichang area, W. Hubei. *Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Ordovician-Silurian Boundary (1)*: 45—73. pls. 1—8. Anhui Science and Technology Publishing House.
- Mutti, E., and Ricci Lucchi, F., 1972: Le torbiditi dell 'Apennino settentrionale: introduzione all' analisi di facies. -*Memoir Society Geology Italy*, 11: 161—199.
- Ricci Lucchi, F., 1975: Depositional cycles in two turbidite formations of northern Apennines (Italy). -*Jour. Sed. Petrology*, 45: 3—43.
- Ruedemann, R., 1947: Graptolites of North America. -*Geol. Soc. Amer. Mem.*, 19. 652 pages, pls. 1—92.
- Strom, K. M., 1939: Land locked water and the deposition of black muds. In Trask, P. D. (ed.), *Recent marine sediments*. London Thomas Murby. p. 365—373.
- Twenhofel, W. H., 1939: Environments of origin of black shales. -*Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull.*, 23: 1178—1198.
- Ulrich, E. O., and Ruedemann, R., 1911: Stratigraphic significance of the wide distribution of graptolites. -*Geol. Soc. Amer. Bull.* 22: 231—237.
- Walker, R. G. and Mutti, E., 1973: Turbidite facies and facies associations. In Middleton, G. V., and Bouma, A. H. (ed.) *Turbidites and deep-water sedimentation*. SEPM Pacific Sec., 119—157.
- Warme, J. E., and Hantzschel, W., 1979: Actualist Paleontology. In Fairbridge, R. W., and Jablonski, D. (ed.), *The Encyclopedia of Paleontology*. 4—10. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 7.
- Wilde, P., and Berry, W. B. N., 1982: Progressive ventilation of the Oceans-Potential for return to anoxic conditions in the Post-Palaeozoic. In Schlanger, S. O., and Cita, M. B. (ed.), *Nature and Origin of Cretaceous Carbon-rich facies*: 209—224. Academic Press.
- Williams, S. H., 1982: The late Ordovician graptolite fauna of the Anceps Bands at Dob's at Linn, southern Scotland. -*Geol. et Pal.*, 16: 29—56. pls. 1—4.

WUFENGIAN (ASHGILLIAN) GRAPTOLITE FAUNAL DIFFERENTIATION AND ANOXIC ENVIRONMENT IN SOUTH CHINA

Chen Xu

(*Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica*)

Xiao Cheng-xie* and Chen Hong-ye*

(*Geological School of Ganzhou*)

Summary

A well-developed Wufengian (Ashgillian) graptolite fauna occurs in the central and south China areas which belong to the same plate, the South China Plate. The graptolite fauna of central China (Yangtze platform) was first studied

by Mu (1945, 1954, 1974), who, together with his

* Both are contributors of results from their palaeontological and stratigraphic researches on the Upper Ordovician section at Guting, Chongyi County, south Jiangxi.