

晚奥陶世五峰期扬子板块沉积模式^①

方一亭 边立曾 俞剑华 冯洪真

(南京大学地球科学系)

提要 本文从沉积相分析及稀土元素地球化学特征来探讨扬子板块在晚奥陶世五峰期的沉积模式,认为五峰期扬子板块南部为古陆,东西北为断续分布的碳酸盐岩台地、生物礁和隆起区所环绕,中部为半封闭的浅水滞流海盆。稀土元素分析表明扬子板块中部广泛分布的五峰组形成于陆浅海而非深海小洋盆。

关键词 五峰期 沉积模式 扬子板块

第一作者简介 方一亭 男 55 岁 副教授 古生物学和地层学

扬子板块晚奥陶世五峰期沉积环境已有不少学者进行了研究,尤其对广布于扬子板块中部五峰组的沉积环境研究较深入。不同学者持有不同观点,但概括起来有两种不同的模式:一是陆表浅海模式(穆恩之,1954;耿良玉,1986;戎嘉余等,1987;黄志诚等,1991)。近年来,笔者在江西修水流域、浙西、赣东北、陕南、四川汉源等地研究五峰期地层,也考察了宜昌等地的五峰组,做了一些测试工作。本文从沉积相分异、稀土元素地球化学特征等方面来探讨扬子板块晚奥陶世五峰期时的沉积模式。

1 扬子板块五峰期沉积相分异

扬子板块自五峰期起变得复杂起来,南部为隆起的黔中古陆(穆恩之等,1981),那里未发现五峰期沉积;北部边缘由于扬子板块与华北板块开始碰撞,致使晚奥陶世沉积变化较大。陕西凤县和甘肃两当县秦岭群上部可作为扬子板块北缘古岛弧火山岩系的现存残片,后期的构造运动将其推覆在华北板块南缘基底之上,这是一套中酸性火山熔岩、火山碎屑岩和大理岩组成,在大理岩中产有珊瑚化石。弧后盆地以鄂陕交界郧西一带为代表,上奥陶统变化较大,有的地区发育基性火山岩,有的地区发育有生物礁灰岩,不少地区缺失上奥陶统,这表明该盆地已由拉张沉降转化为闭合隆起(贾承造等,1988)。

从扬子板块东部(浙江)到西部(四川西部),五峰期的沉积大致可划分为四种基本类型,即玉山型、于潜型、宜昌型和汉源型。

玉山型以生物礁和浅海碳酸盐岩相发育为特征,分布于扬子板块东部,浙赣交界处的江山、玉山和常山一带的三衢山组可以作为这一类型的代表。该组主要由微晶灰岩、鸟眼灰岩、干裂纹灰岩及页岩组成,产有丰富的藻类、珊瑚、层孔虫、腕足类、三叶虫等化石,发育有灰泥丘和由藻类、珊瑚、层孔虫组成的层状礁和点礁。玉山型沉积在古地理位置上位于滨外碳酸盐岩台地,在其东南侧当时可能还存在着一个古陆或古岛屿。类似的沉积也发现于苏北滨海第四系覆

^① 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

盖区下面,在滨海钻井中见有与玉山型相似的晚奥陶世浅海碳酸盐岩和生物礁。这表明,晚奥陶世五峰期在扬子板块的东部发育着断续分布的碳酸盐岩台地。随着工作的深入,在第四系覆盖区的下面,还有可能发现更多的玉山型沉积。

在上述碳酸盐岩台地内侧,发育着一个呈北东—南西向分布的周边内缘沉降带,五峰期地层为浅海复理石或类复理石,在浙皖交界处称为于潜组,在建德、桐庐一带称为长坞组,厚度常逾千米。于潜组复理石最早为关尹文等(1959)研究,认为是浅海成因。之后,国内不少学者也研究了这里的复理石,有人认为是深海浊流成因。复邦栋等(1987,1988)详细研究了于潜组的沉积和生物构造,认为这套复理石形成于浅海而非深海浊流。戎嘉余、陈旭(1987)依据腕足类生态特征认为长坞组形成于比于潜组更浅的海域。笔者同意浅海成因。这种厚度巨大的于潜组复理石沉积说明五峰期地壳运动增强,地形差异明显,因而陆源碎屑物增多。

在扬子板块西部边缘汉源地区发育着一套笔石相和浅海碳酸盐岩相交替的汉源型沉积。在碳酸盐岩中存在着大量藻类化石并具有格架构造,可以认为是藻礁。从其形态来看,此类藻礁可能为台地边缘堤礁。从藻灰岩的发育可以看出,扬子板块西缘在五峰期也存在着相对隆起的碳酸盐岩台地。

在扬子板块中部,广泛发育着笔石相为主的五峰组硅质页岩、碳质页岩,富产笔石,其厚度不大,一般在10m左右,多具水平层理。在少数凹陷区,五峰组厚度较大,如江西武宁一带可达50多米。在五峰组近顶部广泛发育着富产三叶虫、腕足类等化石的介壳相地层,通常称为 *Hirnantia-Dalmanitina* 层,简称HD层,厚度很薄,一般在1m以下。从当时的古地理环境来看,五峰组形成于南部为黔中古陆,东、西、北为断续分布的生物礁、碳酸盐岩台地或隆起剥蚀区所环绕的半封闭的浅海滞流盆地中。

2 五峰组笔石页岩形成于浅海而非深海

上述笔者已经涉及到了五峰组笔石页岩的沉积环境,但由于笔石页岩形成于浅海滞流盆地还是“深海小洋盆”是前人研究扬子板块五峰期沉积环境的焦点所在,笔者认为有进一步讨论的必要。下面从稀土元素的研究来探讨这一问题。现将四川汉源、金口河地区、江苏句容仑山等地的五峰组笔石页岩、HD层岩石与有关样品的稀土含量及其比值列表(表1)。

从表1可以看出,球粒陨石、上地幔和太平洋深海粘土的轻稀土和重稀土的比值 $\sum Ce/\sum Y$ 通常小于1,而东海浅海大陆架沉积物的比值为3.33,这说明深海区沉积物贫轻稀土而浅海区沉积物则相对富轻稀土。我们在汉源、金口河地区五峰组笔石页岩中取得的 $\sum Ce/\sum Y$ 值域在2.37~3.03,与浅海大陆架沉积物相似而与深海区沉积物相差较大,从表1中还可以看出,球粒陨石、上地幔和太平洋深海粘土中Ce与Yb,Sm相比为贫Ce,Ce/Yb的值域在2.2~4.95之间,Ce/Sm的值域在0.85~4.7之间,而东海浅海大陆架沉积物则相对富Ce,Ce/Yb值域为31.59,Ce/Sm为11.78。汉源、金口河地区五峰组笔石页岩的Ce/Yb值域为16.88~30.94,Ce/Sm值域为8.4~12.13,相对富Ce而与东海浅海大陆架沉积物接近。同样,球粒陨石、上地幔和太平洋深海粘土La与Lu相比为贫La其比值在4.67~18.82之间,而东海浅海大陆架沉积物则相对富La,其比值为178.67。汉源和金口河地区五峰组笔石页岩中的La/Lu比值在55.75~105.40之间,其值域也与东海浅海大陆架沉积物的值域相近。

表 1 五峰组笔石页岩与有关样品稀土元素含量及比值对比表

Table 1 Contents and ratios of the rare earth elements from the rocks of Wufeng Formation and contrastion with the upper mantle and other samples

样品号	地点	层位	样品名称	$\sum Ce$ (10^{-6})	$\sum Y$ (10^{-6})	$\sum REE$ (10^{-6})	$\frac{\sum Ce}{\sum Y}$	$\frac{Eu}{\sum REE}$	$\frac{Ce}{Yb}$	$\frac{Ce}{Sm}$	$\frac{La}{Lu}$	备注
JR4	汉源轿顶山	W2	含碳质 笔石页岩	166.44	54.91	221.55	3.03	0.70	23.61	9.23	55.75	
MR5	金口河帽壳山	W6	含碳质硅质 笔石页岩	573.9	242.27	816.17	2.37	0.77	30.94	8.40	105.40	
SR8	汉源石板沟	L1	含碳质 笔石页岩	94.68	33.98	128.66	2.79	0.46	16.88	12.13	70.18	
JR8	汉源轿顶山	HD	砂岩	221	66.12	287.12	3.14	0.49	53.16	12.02	214.80	
MR3	金口河帽壳山	HD	细砂岩	74.45	17.07	91.52	4.36	0.51	28.52	15.83	67.91	
G2.4 10,12	江苏仑山	W2	火山 沉积岩	740.35	162.07	902.42	4.57	0.33	41.46	12.29	163.71	据黄志诚等(1991), 4个样品均值
W1.2, 14,16, 27,28	东海大陆架	50- 70m 深处	软泥、 粉砂	126.59	38.01	164.60	3.33	0.63	31.59	11.78	178.67	据王贤觉等(1982), 6个样品均值
W40 41 42	太平洋	3127- 5373m 深处	粘土	88.16	111.98	200.14	0.79	1.12	4.29	3.08	18.82	据王贤觉等(1982), 3个样品均值
	球粒陨石			2.25	3.17	5.42	0.71	1.35	4.95	4.7	10.32	引自黎彤(1976)
	上地幔			9.4	8.3	17.70	1.13	1.69	2.20	0.85	4.67	引自黎彤(1976)

再看五峰组笔石页岩、HD层砂岩和有关样品的 $\sum Ce/\sum Y$ 和 $Eu/\sum REE$ 相关图(图1)。五峰组笔石页岩的点都分布于图上方的贫铈、富铈族稀土区,与大陆型沉积、东海浅海大陆架沉积物分布于同一区域。而球粒陨石、大洋玄武岩、太平洋深海粘土的点均分布于右下方的富铈、富钇族稀土区。从上可以看出,五峰组笔石页岩与陆壳、浅海沉积物是同一个体系,而与洋壳、深海沉积物是完全不同的两个体系。

在扬子板块中部的许多地区,五峰组近顶部发育着一层小于1m的介壳相地层,即HD层,其中富产 *Hirnantia* 等腕足类、*Dalmanitioa* 等三叶虫以及其他化石。对于这一介壳相地层,人们一致认为是浅海沉积。在生态位置上,它相当于底栖组合 BA2-3,主要为 BA3,水深不超过60m(戎嘉余,1984)。将HD层和五峰组笔石页岩中的稀土元素含量及其比值进行比较后可以看出,两者的各项数据和比值非常相似,在图1上均位于左上方贫铈富铈族稀土区。可以得出结论,五峰组笔石页岩与HD层同属一个体系,均为浅海沉积物。

黄志诚等(1991)依据放射虫的发现和碳酸盐岩的均衡补偿理论认为江苏句容仑山五峰组形成于深海。关于放射虫,诚如耿良玉(1986)所指出的,并不完全限于深海,在浅海区也有分布。对碳酸盐岩的均衡补偿作用,耿良玉(1986)也作了详尽的分析和讨论,认为不能作为五峰

组形成于深海的主要依据。笔者同意耿良玉的观点,在此不再赘述。本文从化石和稀土元素两方面的材料论证仑山五峰组形成于浅海而非深海。

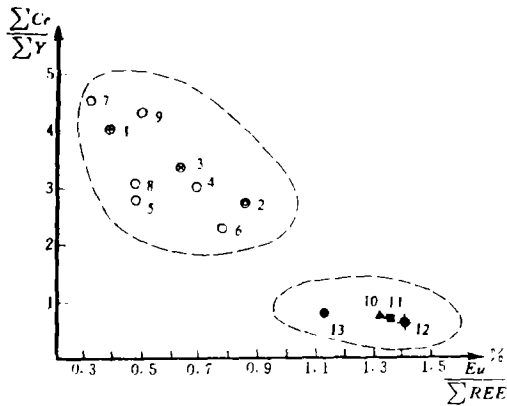


图1 五峰组样品与其他有关样品

的 $\sum Ce/\sum Y-Eu/\sum REE$ 图解

1. 华南花岗岩; 2. 大陆型沉积壳层; 3. 东海大陆架沉积物; 4. 汉源桥顶山五峰组笔石页岩; 5. 汉源石板沟五峰组笔石页岩; 6. 金口河五峰组笔石页岩;
7. 江苏句容仑山五峰组火山沉积岩; 8. 汉源桥顶山五峰组 HD 层砂岩; 9. 金口河五峰组 HD 层砂岩; 10. 洋壳;
11. 球粒陨石; 12. 大洋玄武岩; 13. 太平洋深海粘土

Fig. 1 $\sum Ce/\sum Y-Eu/\sum REE$ diagram of the rocks of Wufeng Formation and other samples

仑山五峰组中不少层位产有 *Lingulella* 等无铰腕足类,有一定丰度,壳薄,保存较完整,笔者认为很可能为原地保存。*Lingulella* 穴居而生,分布于很浅的浅海区,与 *Lingulella* 相似的现生无铰腕足类 *Lingula* 一般生活区不低于海面以下 40m,最浅可达潮间带。这类小型无铰腕足类在宜昌、陕南西乡、四川汉源等地五峰组中也有发现,产这些化石的地层都形成于浅海区。

虽然仑山五峰组的测试样品为火山沉积岩,但稀土元素的各项数据与其他地区的五峰组笔石页岩和 HD 层岩石中测得的数据及其比值仍基本一致,而与深海洋盆沉积物的相应数据和比值明显不同(表 1)。这表明,仑山五峰组与其他地区的五峰组成于一个相似环境,都是浅海而非深海洋盆。

关于五峰组笔石页岩形成时海水盐度问题,不同的沉积模式会得出不同的结论。陆表浅海论者(穆恩之,1954;耿良玉,1986,戎嘉余等,1987)认为五峰组笔石页岩形成于半封闭的淡化浅海,而深海小洋盆模式自然不会引出淡化的观点。我们认为五峰组笔石页岩形成于南部为古陆,东、西、北为断续分布的碳酸盐台地、生物礁或古岛屿所环绕的半封闭的浅海盆地。从此盆地周围发育有生物礁来判断,扬子板块应处于低纬度地区,气候温暖,有较多的降水量。扬子板块中部的半封闭浅海盆地自然成为聚水区。由于淡水不断聚集而使海水逐步淡化。这在临湘期至五峰期的生物群更替上可以得到反映。临湘期是一个正常的浅海环境,因而临湘组中产有丰富的正常海中生活的头足类、三叶虫等化石。到五峰早期,这一地区已逐步形成半封闭的滞流海盆,海水逐渐淡化,窄盐度的生物不断消亡,代之而起的是小型无铰腕足类,然后是大量繁盛漂浮生活的笔石。五峰组底部的小型无铰腕足类层见于宜昌、陕南西乡,四川汉源等地。现生的腕足类多生活于正常盐度的海水中,但是无铰腕足类 *Lingula* 则能生活于现代热带、亚热带地区较低盐度的海域中。我们是否也能据此推断五峰组底部小型无铰腕足类发育并缺乏正常盐度生物标志着五峰期海水已开始淡化,当海水继续淡化,并使海底形成强还原状态,严重缺氧,底栖生物无法生存,形成漂浮生物为主的五峰组笔石页岩。

再从镁铝比值来讨论五峰组笔石页岩形成时的海水盐度。张士三(1988)提出镁铝含量比值可作为沉积物形成环境中水体盐度的指标。镁铝含量比值定义为 $m=100 \times MgO/Al_2O_3$,是根据沉积岩层中 MgO 的亲海性, Al_2O_3 含量的亲陆性特征而建立的比值关系。不同盐度环境中形成的沉积物其镁铝含量比 m 是不同的,淡水沉积环境 $m < 1$,海陆过渡沉积环境 $1 < m <$

10. 海水沉积环境 $10 < m < 500$ 。

笔者测试和收集了一些地区五峰组岩石的数据并计算了镁铝含量比值(表2)。

表2 五峰组镁铝比值对比表

Table 2 The MgO/Al₂O₃ ratios from the rocks of Wufeng Formation

样品号	取样地点	层位	岩性	MgO/Al ₂ O ₃ (×100)	备注
XC101 105 110 127	西乡三郎铺	五峰组	黑色笔石页岩	9.13	4个样品均值
WC8.10, 12, 18-22	江西武宁	W6	黑色笔石页岩	7.48	8个样品均值
JR4	汉源 轿顶山	W2	含碳质笔石页岩	34.43	
JR10	汉源 轿顶山	W6	黑色硅质页岩	17.09	
MR5	金口河 帽壳山	W6	含碳质硅质笔石页岩	19.19	
SR8	汉源 石板沟	L1	含碳质笔石页岩	42.10	
G2.4.10, 16-8-2 19-2	江苏句容 仑山	W2	火山沉积岩	9.97	据黄钟瑾等 ^① (1990)

①黄钟瑾等,1990,下扬子区早古生代同生断裂的发育特征与油气关系的研究

从表2可以看出,五峰组笔石页岩的镁铝含量比值在7.48~34.43,处于张士三提出的海陆过渡环境的高值和海水沉积环境的低值,这也从另一个侧面说明五峰组笔石页岩形成于淡化的海水。

笔者认为,不论从扬子板块沉积相分布、生物群还是稀土元素分布特征来分析,五峰组笔石页岩形成于半封闭的滞流浅海盆地而非深海小洋盆。

本文的测试数据由南京大学现代测试中心和地球科学系中心实验室提供,插图由徐富林清绘,特致谢意。

收稿日期:1992年3月20日

参 考 文 献

- 王贤觉、陈毓蔚、雷剑泉、吴明清、赵一阳,1982,地球化学,1期,56-65页。
 关尹文、丘元禧、顾宝荣,1959,地质学报,39卷2期,188-212页。
 戎嘉余,1984,地层学杂志,8卷1期,19-29页。

- 戎嘉余、陈旭,1987,古生物学报,26卷5期,507—530页。
- 李继亮、陈昌明、高文学、陈瑞君、黄家宽、田兴有、刘杰汉,1978,地质科学,1期,26—44页。
- 张士三,1988,矿物岩石地球化学通讯,2期,12—13页。
- 陈旭、戎嘉余、丘金玉、韩乃仁、李罗照、李守军,1987,地层学杂志,11卷1期,23—34页。
- 陈旭、肖承协、陈洪冶,1987,古生物学报,26卷3期,326—344页。
- 俞剑华、方一亭、张大良,1986,南京大学学报(自然科学版),22卷3期,475—488页。
- 俞剑华、夏树芳、方一亭,1976,南京大学学报(自然科学版),12卷2期,57—77页。
- 夏邦栋、吕洪波、熊斌辉、何永明、胡宝生,1987,沉积学报,5卷2期,73—79页。
- 夏邦栋、吕洪波,1988,沉积学报,6卷4期,44—51页。
- 贾承造、施央申、郭令智,1988,东秦岭板块构造,南京大学出版社。
- 耿良玉,1986,中国古生物学会第十三、十四届学术年会论文集,103—112页,安徽科学技术出版社。
- 黄志诚、黄钟瑾、陈智娜,1991,沉积学报,9卷2期,1—14页。
- 穆恩之,1954,古生物学报,2卷2期,153—170页。
- 黎彤,1976,地球化学,第3期,167—174页。

Sedimentary Environment Pattern of Yangtze Plate in Wufeng Age of Late Ordovician

Fang Yiting Bian Lizeng Yu Jianhua Feng Hougzheng

(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract

Strata of Wufeng age are widely distributed in Yangtze Plate, and our sedimental types can be recognized from east to west, i. e. : Yushan, Yuqia, Yichang and Hanyuan type.

Yichang type is characterized by graptolite black shales Wufeng Formation. Two different opinions about the sedimental environment of Wufeng Formation have been arguing in recent years: i. e. , shallow sea deposits or deep sea deposits. Based on the paleontology, petrographic characteristics, especially the analyses of the rare earth elements, the authors concluded that the graptolite black shales of Wufeng Formation were deposited in an epicontinental shallow restricted basin.

Yushan type consists mainly of micritic limestone, bird-eye limestone and shales bearing abundant algae, corals, brachiopods, trilobites. This type constructs some isolated carbonate reef platforms staning on the southeast margin of the restricted basin.

Between the restricted basin and carbonate reef platforms, there is a depression trough filled by shallow water flysch deposits called Yuqian Formation or Changwu Formation.

Hanyuan type developed in the west part of Yangtze Plate and consists of carbonate rocks and black shales, representing another type of reef carbonate platform and ramp.