

华南地区栖霞组沉积地球化学特征研究

施春华^{1,3}, 胡瑞忠¹, 颜佳新²

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:利用多元统计分析方法对广西来宾铁桥剖面栖霞组层纹灰岩和江西慈化洪桥剖面栖霞组粒泥灰岩的岩石地球化学特征进行了分析;对广西来宾铁桥剖面栖霞组的灰岩样品 40 件及该剖面中产出的菊花石样品 8 件、江西慈化洪桥剖面的粒泥灰岩样品 8 件、浏阳永和剖面的灰岩样品 10 件及该区产出的菊花石样品 3 件进行了黄铁矿矿化程度(DOP 值)的测定分析,分析结果表明华南地区的 DOP 值多数大于 0.42;结合岩石微量元素比值特征的分析,表明华南地区栖霞组灰岩形成于缺氧的沉积环境。DOP 值的变化趋势为:浏阳>来宾>慈化,表明华南地区 3 个剖面的沉积环境含氧量的关系为:浏阳<来宾<慈化。DOP 值在 3 个剖面上的周期性变化与剖面中的沉积旋回相对应,亦表明沉积环境的含氧量呈周期性变化。

关键词:栖霞组;地球化学;黄铁矿矿化程度;缺氧沉积

中图分类号:P59

文献标识码:A

文章编号:1000-7849(2004)01-0033-05

华南地区栖霞组是在全球石炭纪—二叠纪冰期极地冰盖逐渐消融及全球大规模海侵背景下形成的一套特殊的碳酸盐岩地层,其分布广泛,岩性岩相及地层厚度变化小,从下到上大致由一大的海侵沉积序列组成。尽管目前对栖霞组沉积环境的研究较多^[1~3],且主要集中在沉积学、古生物学等方面,研究表明华南地区栖霞组属于缺氧的沉积环境^[1~3],而对该区栖霞组沉积地球化学特征的研究则较少^[4,5]。随着对缺氧沉积研究的深入,古氧相的地球化学分析方法越来越受到人们的重视。Berner 等^[6]和 Raiswell 等^[7]提出可以依据早期成岩作用过程中黄铁矿形成过程与沉积环境的关系,用有机碳和黄铁矿中硫的质量分数比值 $w(C)/w(S)$ 及黄铁矿矿化程度(DOP 值)作为古氧相地球化学指标。Hatch 等^[8]对北美堪萨斯州上宾西法尼亚统黑色页岩的研究表明,痕量元素比值 $w(V)/w(V+Ni)$ 能有效地反映环境的氧化还原条件。Jones 等^[9]认为在判别古氧相地球化学特征方面微量元素比值 $w(U)/w(Th)$ 、 $w(V)/w(Cr)$ 、 $w(Ni)/w(Co)$ 等最可靠,并指出它们之间有一定的对比关系。吴明清等^[10]和 Elderfield 等^[11]做了用铈异常作为寻迹古海洋氧化还原条件变化的化学示踪剂的实例研究;白顺良等^[12]通过对华南泥盆系缺氧沉积的稀土元素地球化学特征的研究,指出铈异常可用 $w(Ce)/w(La)$ 值

代替。笔者将以广西来宾铁桥剖面为重点,运用古氧相地球化学分析方法来研究华南地区栖霞组的沉积地球化学特征。

1 样品分析方法

此次地球化学元素分析的样品为采自广西来宾铁桥剖面栖霞组下段 30 层以内的层纹灰岩样品(LB)22 件和江西慈化洪桥剖面的粒泥灰岩样品(CH)8 件。进行 DOP 值分析的样品有广西来宾铁桥剖面栖霞组的灰岩样品(LB)40 件及该剖面中产出的菊花石样品(C)8 件、江西慈化洪桥剖面的粒泥灰岩样品(CH)8 件、浏阳永和剖面的灰岩样品(LY)10 件及该区产出的菊花石样品(Yhj)3 件。黄铁矿矿化程度(DOP 值)采用 Raiswell 等^[7]提出的公式 $[DOP = w(Fe_{\text{黄铁矿}})/w(Fe_{\text{HCl}} + Fe_{\text{黄铁矿}})]$ 计算得到,式中黄铁矿中的铁 $w(Fe_{\text{黄铁矿}})$ 用 Lord^[13] 的逐步分离法提取; $w(Fe_{\text{HCl}})$ 用 Berner^[14] 的热盐酸溶解法测定。Ni、Co 和 Cr 的含量采用原子吸收光谱法测定;其余元素的含量采用 X 射线荧光法测定。

2 Q 型和 R 型聚类分析

为了查明该组灰岩的元素分布和组合规律,将

标准化处理后的测试分析结果用距离系数的最短距离法进行了Q型和R型聚类分析。Q型聚类分析中用的变量是常量元素。Q型聚类分析结果表明(图1),该区栖霞组灰岩可以分为6群。

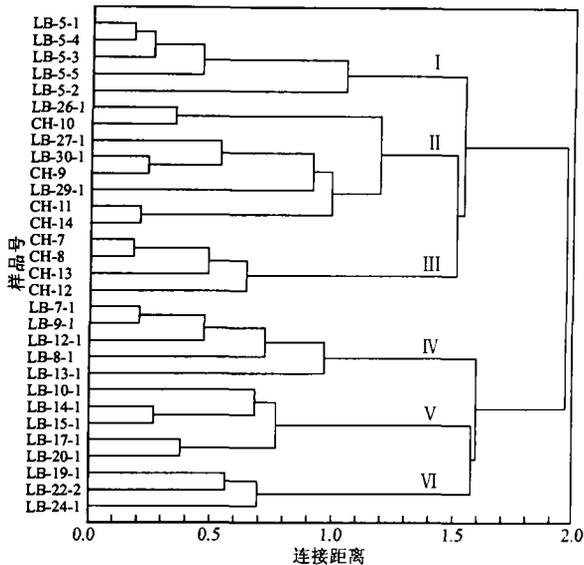


图1 华南地区栖霞组岩石地球化学分析结果的Q型聚类分析
Fig.1 Q cluster analysis of geochemistry for cases from Qixia Formation in South China

第I群主要是中—厚层黑灰色灰岩夹薄层含碳质泥岩。颜色较暗,灰岩内含较多菱,泥岩层面上具清楚的 *Zoophycos*,含薄壳腕足、苔藓虫和海百合茎等。其 $w(\text{SiO}_2)$ 为1%~5%,碳酸盐组分的含量高, $w(\text{CaO})$ 平均为52.3%,泥质组分的含量低, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 平均为0.80%, $w(\text{MgO})$ 较低,平均为0.85%,且 $w(\text{K}) > w(\text{Na})$,微量元素U、Cr的含量高,其它微量元素随泥质、有机质等多因素而变化,其含量较低,但波动较大。

第II群既有来自广西来宾铁桥剖面的样品又有来自江西慈化洪桥剖面的样品。主要是灰黑色中—厚层生物屑灰岩及具生物钻孔的灰泥岩。遗迹极发育,局部发育米契尔珊瑚。有弱硅化和白云岩化,泥质组分的含量较低, $w(\text{MgO})$ 也相对较低。

第III群主要是来自江西慈化洪桥剖面的样品,主要为灰色中—薄层灰泥岩状含燧石结核生物屑灰岩。其元素地球化学特征明显有别于广西来宾地区的灰岩。泥质组分的含量极低, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 均小于0.10%,但 $w(\text{MgO})$ 相对偏高,表明该区的白云岩化作用强于来宾地区。而 Fe_2O_3 、 K_2O 、P、Mn、Ba等组分的含量都明显低于来宾地区的灰岩,其它重金属微量元素的含量也明显偏低。该群样品的微量元素含量比值偏低,其DOP值也相对较低。对其岩相

特征的分析发现,该群样品的颜色浅于其它样品,表明该群样品的沉积环境的含氧量高于其它地区。

第IV群为灰黑色中—薄层泥质灰岩与页岩互层,页岩中夹薄层透镜状灰岩。生物碎屑丰富,以苔藓虫、腕足、海百合茎等为主。岩石中发育有较强的硅化和白云岩化作用, $w(\text{MgO})$ 相对偏高,泥质组分的含量也相对较高。

第V群为黑灰色灰泥岩夹极薄层页岩,灰岩层中含较多的海百合茎、腕足、海绵等。泥质组分的含量相对中等,Cr、V、U等微量元素的含量较低。有较弱的硅化和白云岩化。

第VI群主要为深灰色中—厚层灰岩夹极薄层页岩,灰岩多呈水平纹层状。生物碎屑多为海百合茎,偶见有薄壳腕足、海绵等。有弱硅化与白云岩化,泥质组分的含量低,亲碳酸盐岩的微量元素的含量高, $w(\text{Sr})$ 高达 1600×10^{-6} , $w(\text{Mn})$ 高达 642×10^{-6} , U、Cr等微量元素的含量相对较低。

上述聚类的沉积特征、古生态特征表明,各群沉积环境的含氧量顺序应是 $\text{I} < \text{VI} < \text{V} < \text{III} < \text{II} < \text{IV}$ 。相关分析结果表明, SiO_2 与 CaO 呈明显负相关,相关系数为-0.95; SiO_2 与 MgO 呈明显正相关; CaO 与 MgO 、 K_2O 等呈明显负相关。各微量元素间的相关性较好,其中V与Cr的相关性最好,相关系数为0.93, K_2O 与Cr的相关系数为0.91, Th与Cr相关系数为0.91;微量元素Th、V、Ni、Cr的相关性较好,呈较明显的正相关。

对地球化学元素进行R型聚类分析(图2),结果表明岩石组分可以分为3大群:第I群包括 SiO_2 、 MgO 和 Al_2O_3 ,其分布特征主要受成岩作用的控制,其 SiO_2 和 MgO 分别代表硅化和白云岩化作

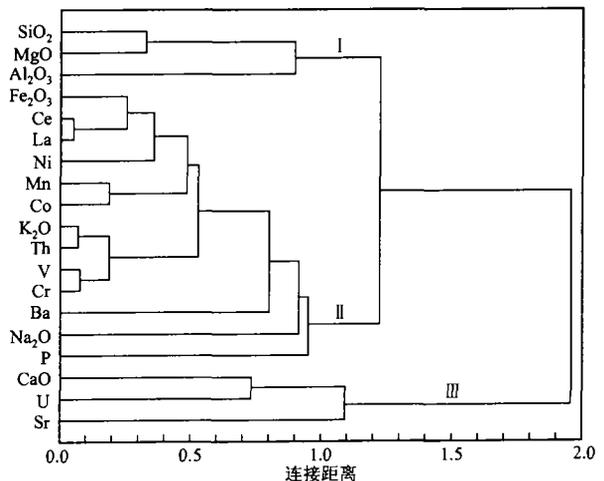


图2 华南地区栖霞组岩石地球化学分析结果的R型聚类分析
Fig.2 R cluster analysis of geochemistry for variables from Qixia Formation in South China

用;第Ⅱ群包括 CaO、Sr 和 U,主要是碳酸盐岩组分和亲碳酸盐岩组分,其分布特征主要受沉积环境的控制,Sr 是亲碳酸盐岩的组分,其含量较高;第Ⅲ群包括 Fe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、P、Mn、Ba、V、Cr、Th、Co、Ce、La、Ni 等,其分布特征主要受沉积环境和原岩岩性的控制,亦表明该群组分主要受早期成岩作用的控制,但在岩石成岩过程中由于受晚期成岩作用的影响而导致样品中各组分分布的差异。

3 微量元素比值特征

此次研究的 30 个样品的微量元素比值特征如表 1 所示。其中江西慈化洪桥剖面(CH)的 $w(V)/w(V+Ni)$ 值较低(7 个样品 ≤ 0.60),广西来宾铁桥剖面 22 个样品(LB)的 $w(V)/w(V+Ni)$ 值都小于 0.80,指示形成环境为水体分层不强烈的贫氧环境;30 个样品中有 29 个样品的 $w(Ce)/w(La)$ 值 > 1.5 ,有 26 个样品的 $w(U)/w(Th)$ 值 > 0.75 ,亦指示环境具有缺氧的特点,但 $w(Ni)/w(Co)$ (< 2.5) 和 $w(V)/w(Cr)$ (< 1.5) 值例外。

巢湖平顶山剖面的栖霞组碳质或钙质页岩的

$w(V)/w(Cr)$ 值与上述特征大体相同,但均具有能反映缺氧环境的正铈异常。湖北巴东水布垭剖面栖霞组碳酸盐岩的 $w(V)/w(Cr)$ 值也与之相似(均小于 1.0)^[5];相反,在一些较纯的灰岩中, $w(V)/w(Cr)$ 值较高(大多大于 1.0)。据 Hatch 等^[8]的资料,在北美堪萨斯上宾西法尼亚统的黑色页岩中,Cr 的含量一般与 U、V、Mo、Cd、Zn 及有机质的含量等一起随沉积环境氧化还原程度的变化而变化,但在少数样品中出现反向变化。经进一步的有机质组成和物源分析发现,Cr 含量变化趋势异常的样品与其含有较丰富的海相藻类有机质有关。众所周知,华南地区栖霞期海侵范围极广,陆源物质的注入对沉积环境的影响极小。对栖霞组有机地球化学的研究表明,栖霞组内主峰碳多为 ^{17}C 或 ^{19}C ,表明母质来源以海洋生物,尤以藻类为主。因此,栖霞组内较低的 $w(V)/w(Cr)$ 值一方面可能与灰岩中有机质含量较低因而 $w(V)$ 也较低有关;另一方面可能与栖霞期海藻大量发育、海相藻类生物对 Cr 的富集有关。古氧相地球化学指标 $w(Ni)/w(Co)$ 标准由 Jones 等^[9]提出后,又有很多学者用其成功地解释了沉积环境的特征。但此次研究发现其意义值得进一

表 1 华南地区栖霞组灰岩微量元素比值特征及常量元素分析结果

Table 1 Ratio of microelements and main elements of carbonates of Qixia Formation in South China

采样地点	序号	样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	$w(V)/w(V+Ni)$	$w(U)/w(Th)$	$w(Ce)/w(La)$	$w(Ni)/w(Co)$	$w(V)/w(Cr)$	DOP
			$w_B/\%$									
广西来宾铁桥	1	LB-5-1	2.19	0.64	52.60	0.84	0.66	35.57	2.11	2.27	0.94	0.93
	2	LB-5-2	5.09	1.29	50.24	0.85	0.70	3.47	2.05	2.00	0.44	0.71
	3	LB-5-3	1.25	0.46	53.19	0.84	0.71	45.28	1.89	2.21	0.87	0.96
	4	LB-5-4	3.98	1.40	50.53	1.03	0.64	10.92	1.96	2.19	0.58	0.95
	5	LB-5-5	1.44	0.31	53.78	0.73	0.55	71.15	2.41	1.78	1.01	0.92
	6	LB-7-1	14.29	2.37	41.96	2.39	0.73	0.71	1.82	2.34	0.89	0.69
	7	LB-8-1	23.26	3.97	24.82	11.95	0.79	0.44	1.46	2.09	0.62	0.39
	8	LB-9-1	19.83	2.21	39.60	2.19	0.71	0.77	1.57	1.84	0.70	0.45
	9	LB-10-1	6.07	0.69	49.94	1.25	0.59	9.09	1.78	2.38	0.84	0.55
	10	LB-12-1	9.70	1.68	46.39	1.81	0.65	0.39	1.88	2.02	1.12	0.41
	11	LB-13-1	17.95	1.70	42.26	1.59	0.66	1.40	1.70	1.85	1.10	0.47
	12	LB-14-1	7.85	1.00	49.35	1.35	0.59	0.98	2.02	1.68	0.92	0.53
	13	LB-15-1	7.25	1.27	49.05	1.55	0.61	0.54	2.01	1.97	1.19	0.74
	14	LB-17-1	3.20	0.76	52.01	1.09	0.68	2.52	1.71	1.62	1.32	0.73
	15	LB-19-1	12.02	0.91	45.21	1.76	0.64	3.42	2.44	2.02	0.90	0.87
	16	LB-20-1	3.14	0.72	52.30	1.08	0.58	2.64	2.13	1.80	1.18	0.81
	17	LB-22-2	4.34	0.26	52.01	0.99	0.53	1.94	1.96	2.18	0.92	0.56
	18	LB-24-1	19.55	1.57	38.71	3.39	0.74	3.15	1.85	3.02	0.95	0.62
	19	LB-26-1	1.26	0.12	54.37	0.66	0.54	19.85	2.67	1.74	1.11	0.59
	20	LB-27-1	1.99	0.20	53.78	0.88	0.53	23.04	2.23	1.57	0.96	0.53
	21	LB-29-1	5.56	0.71	51.12	0.80	0.51	9.64	2.39	2.45	0.82	0.80
	22	LB-30-1	2.27	0.52	53.19	0.91	0.51	4.88	2.48	1.83	0.87	0.72
江西慈化洪桥	41	CH-7	16.36	0.03	39.30	9.03	0.61	19.82	1.83	2.52	1.65	0.96
	42	CH-8	11.20	0.02	44.92	5.63	0.53	11.77	2.02	2.09	1.44	0.77
	43	CH-9	1.66	0.01	53.93	1.21	0.42	4.39	2.85	1.66	1.37	0.60
	44	CH-10	2.51	0.01	52.89	1.90	0.42	3.07	2.90	1.60	1.58	0.33
	45	CH-11	1.50	0.01	53.78	1.14	0.40	5.60	2.79	1.69	1.55	0.72
	46	CH-12	9.95	0.01	45.51	5.73	0.49	3.27	2.42	2.54	1.41	0.57
	47	CH-13	5.62	0.09	49.94	3.30	0.45	6.30	2.26	1.84	1.63	0.24
	48	CH-14	5.99	0.04	50.24	2.74	0.48	8.27	2.16	1.83	1.49	0.25

注:常量元素、微量元素的质量分数由湖北地质局测试中心测定,精度为 0.01;DOP 值由中南民族学院化学系测定

步探讨,在此次30个贫氧环境的灰岩样品中,有29个样品的 $w(\text{Ni})/w(\text{Co})$ 值均小于3.0,这可能与该区 $w(\text{Ni})$ 的偏小有关系,与沉积背景中有机质的含量和类型亦有关系。

结合地层学、沉积学和古生态学等方面的研究表明,该区栖霞组中含有大量对水体中含氧量要求不高的生物,有机质丰富,这些均表明其沉积环境具有贫氧特征^[15,16]。值得指出的是,大多数古氧相微量元素地球化学指标所依据的岩性大多为泥质岩类,其泥质和有机质的含量均较高。这次研究的样品均系碳酸盐岩。与大多数黑色页岩相比,尽管栖霞组灰岩普遍贫金属元素,但是,除指标 $w(\text{Ni})/w(\text{Co})$ 、 $w(\text{V})/w(\text{Cr})$ 外,大多数适用于泥质岩的指标同样适用于该组含有有机质和泥质的碳酸盐岩。

4 黄铁矿矿化程度特征

在沉积物的早期成岩阶段,成岩环境的演变主要受可降解有机质分解的影响,并受化学反应热动力学平衡所控制,出现有氧呼吸、硝酸盐还原、铁锰氧化物还原、硫酸盐还原和甲烷形成的成岩序列。由于硫酸盐还原反应的消耗和天青石的形成,孔隙水

中硫酸根离子的浓度逐渐降低直至耗尽,天青石晶体(菊花石)的生长也将因硫酸根离子浓度的降低而停止^①。在硫酸盐还原反应阶段的后期,孔隙水中硫酸根离子的消耗主要是由于甲烷的氧化,甲烷的氧化可释放出 CO_2 ,使得孔隙水的碱度增加,碳酸盐矿物逐渐趋于过饱和,导致方解石开始交代天青石。硫酸盐还原反应的发生对天青石的形成具有抑制作用。华南地区栖霞组中的天青石呈层分布,只产出于特定的层段^[17],表明该区的含氧量曾发生过频繁变化,当时的环境可能处于贫氧与富氧的动态平衡之中。华南地区栖霞组69个样品的DOP值测定结果如表1、表2和图3所示。由于第59~69号样品全部为菊花石样品,故在统计灰岩的DOP值时未予以考虑。

来宾地区40个灰岩样品中有37个样品的DOP值大于0.42(表1,2),表明来宾地区的沉积环境具有总体缺氧的特征。通过比较发现,灰岩样品的DOP值大于同层位的菊花石围岩的DOP值,表明在天青石形成过程中,当时的环境可能发生了变化,进入了更缺氧的状态。来宾地区灰岩样品中有3个样品的DOP值小于0.42,表示其含氧量较高,这与地质资料中的生物碎屑块状灰岩相对应。

表2 华南地区栖霞组岩石的黄铁矿矿化程度DOP^①
Table 2 DOP of rocks of Qixia Formation in South China

序号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
样品号	LB-31-1	LB-32-1	LB-33-1	LB-33-2	LB-53-1	LB-54-1	LB-55-1	LB-56-1	LB-57-1	LB-58-1	LB-58'-1	LB-59-1	LB-60-1
DOP	0.76	0.84	0.61	0.92	0.89	0.87	0.59	0.92	0.93	0.90	0.75	0.78	0.76
序号	36	37	38	39	40	49	50	51	52	53	54	55	56
样品号	LB-61-1	LB-62-1	LB-68-1	LB-69-1	LB-70-1	LY-1	LY-2	LY-3	LY-4	LY-5	LY-6	LY-7	LY-8
DOP	0.16	0.90	0.43	0.56	0.76	0.92	0.95	0.87	0.93	0.76	0.57	0.96	0.80
序号	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
样品号	LY-9	LY-10	Yhj-1	Yhj-2	Yhj-3	C-53-1	C-62-1	C-53-2	C-57-1	C-57-2	C-58'-1	C-59-1	C-60-2
DOP	0.94	0.98	0.88	0.97	0.97	0.54	0.29	0.74	0.69	0.28	0.12	0.61	0.73

江西慈化8个栖霞组灰岩样品(CH)中有5个样品的DOP值大于0.42(表1),平均值为0.55,表明该区当时为缺氧的沉积环境。

浏阳地区10个栖霞组灰岩样品(LY)的DOP值均大于0.42(表2),平均值为0.87,指示环境具有缺氧的特点。据Lin等^[18]的报道,硫酸盐还原反应与有机质的产率、沉积速率等呈正相关。野外地质资料表明,浏阳地区灰岩的颜色较其它地区灰岩的深,表明其含有丰富的有机质,还原性较强,导致该区的环境缺氧。

华南地区58个灰岩样品的DOP值的变化趋势表现出一定的周期性(图3),DOP值在0.42与0.75两条线上下波动,亦反映沉积环境的含氧量具

有周期性变化的特点,表明华南地区在这个时期海平面曾发生过多次变化,这与野外观察到的海进、海退沉积序列的地质特征一致。从整个华南地区的沉积体系看,当时海水深度的变化趋势为:浏阳>来宾>慈化。反映沉积环境缺氧的沉积学和古生态学特征在剖面上表现得更为清楚。

来宾、慈化和浏阳地区灰岩的DOP值均表明环境具有缺氧的特征。由上述3个剖面灰岩的DOP值可知,这3个剖面沉积环境的含氧量变化趋势分别为:浏阳<来宾<慈化,与其还原强度的变化趋势

① 李军虹. 华南栖霞组菊花石蚀变规律及其生长模型分析[D]. 武汉: 中国地质大学, 2000.

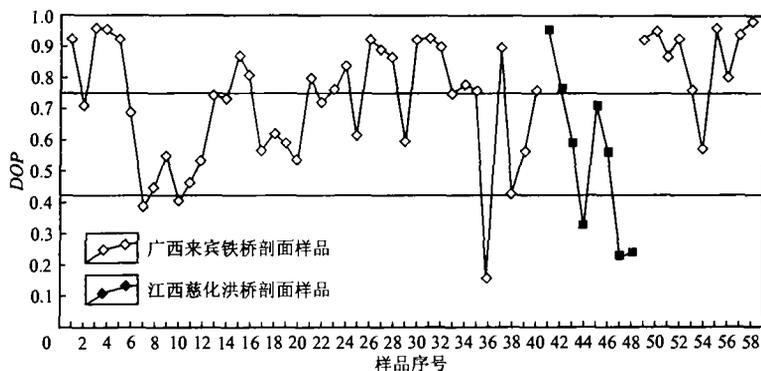


图 3 华南地区栖霞组灰岩 DOP 值的周期变化

Fig. 3 DOP value periodic change of carbonates of Qixia Formation in South China

正好相反。DOP 值在上述 3 个剖面上的周期性变化表明, 沉积环境的含氧量也发生过周期性的变化。

5 结 论

(1) 研究区的沉积环境属于缺氧的沉积环境。该区层纹灰岩和含泥质灰岩样品的沉积环境应为贫氧的沉积环境; 而该区发育的含黄铁矿的黑色页岩和含碳质泥质灰岩可能形成于厌氧的沉积条件; 而含生物碎屑的块状灰岩则可能是富氧沉积条件下的产物。

(2) 在页岩古氧相地球化学判别指标中, DOP 值、 $w(V)/w(V+Ni)$ 、 $w(Ce)/w(La)$ 和 $w(U)/w(Th)$ 值同样适用于该区灰岩; 但 $w(V)/w(Cr)$ 、 $w(Ni)/w(Co)$ 值在灰岩中的可靠性值得进一步研究。

(3) 研究区 DOP 值的变化显示了华南各区含氧量的变化, 其变化机制与意义值得更深入的研究。

参考文献:

- [1] 沙庆安, 吴望始, 傅家谟, 等. 黔桂地区二叠系综合研究——兼论含油气性[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [2] 吕炳全, 瞿建忠. 下扬子地区早二叠世海进和上升流形成的缺氧环境的沉积[J]. 科学通报, 1989, 34(22): 1721—1724.
- [3] 吴胜和, 冯增昭, 何幼斌. 中下扬子地区二叠纪缺氧环境研究[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 29—36.
- [4] 江纳言, 贾蓉芳, 王子玉. 下扬子地区二叠纪古地理和地球化学环境[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1—206.
- [5] 颜佳新, 徐四平, 李方林. 湖北巴东栖霞组缺氧沉积环境的地球化学特征[J]. 岩相古地理, 1998, 18(6): 27—32.
- [6] Berner R A, Raiswell R. C/S method for distinguishing fresh-water from marine sedimentary rocks [J]. *Geology*, 1984, 12(4): 365—368.
- [7] Raiswell R, Buckley F. Degree of pyritization of iron as a pal-

eoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation[J]. *J. Sediment. Petrol.*, 1988, 58(5): 812—819.

- [8] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, USA [J]. *Chemical Geology*, 1992, 99(2): 65—82.
- [9] Jones B J, Manning A C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones [J]. *Chemical Geology*, 1994, 111(5): 111—129.
- [10] 吴明清, 欧阳自远, 钟异常——一个寻迹古海洋氧化还原条件变化的化学元素示踪剂[J]. 科学通报, 1992, 37(3): 242—244.
- [11] Elderfield H, Greaves M J. The rare earth elements in seawater [J]. *Nature*, 1982, 296(3): 214—215.
- [12] Bai S L, Bai Z Q, Ma X P, et al. *Devonian Events and Biostratigraphy of South China* (Chapter 3): Ce/La Ratio as Marker of Palaeoredox [M]. Beijing: Peking Univ. Press, 1994. 21—24.
- [13] Lord C J. A selective and precise method for pyrite determination in sedimentary materials [J]. *J. Sediment. Petrol.*, 1982, 52(2): 664—666.
- [14] Berner R A. Sedimentary pyrite formation [J]. *Am. Jour. Sci.*, 1970, 268(1): 1—23.
- [15] Pedersen T F, Calvert S E. Anoxia vs. productivity: What controls the formation of organic carbon-rich sediments and sedimentary rocks? [J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 74(4): 454—466.
- [16] Tribouillard N P, Desprairies A, Lallier-Verges E, et al. Geochemical study of organic matter-rich cycles from the Kimmeridge Clay Formation of Yorkshire (UK): Productivity versus anoxia [J]. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 1994, 108(7): 165—181.
- [17] 方鄯森, 袁旭音. 赣西湘东菊花状天青石的特征及其成因[J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(4): 341—347.
- [18] Lin S, Morse J W. Sulfate reduction and iron sulfide mineral formation in Gulf of Mexico anoxic sediments [J]. *Am. Jour. Sci.*, 1991, 291(1): 55—89.

(下转第 41 页)

GROWTH RINGS OBSERVATION ON FOSSIL WOODS AND THEIR IMPLICATION FROM YIXIAN FORMATION OF LOWER CRETACEOUS IN WESTERN LIAONING PROVINCE

DING Qiu-hong^{1,2}, ZHANG Wu², ZHENG Shao-lin²

(1. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang Liaoning 110006, China;*
2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang Liaoning 110032, China*)

Abstract: The study of growth rings of fossil woods observed from Yixian Formation of Lower Cretaceous in Western Liaoning Province shows that the growth rings of fossil woods, present or absent, exhibit the climate change with seasons. At the same time, the growth rings can provide extensive information on paleoclimate and paleoecology. The clear growth rings of fossil woods from Yixian Formation reflected the climate with obvious seasonal feature at that time, and their width change indicates intensive climatic fluctuation, which implies the aridity-semiarid waving feature. The index of mean sensitivity (*MS*) from various fossil woods is between 0 and 0.2, as a whole, showing the trees growth under the well environment with annual precipitation or water provided equably in Yixian age.

Key words: fossil wood; growth ring; paleoclimate; ecological environment

(上接第 37 页)

GEOCHEMICAL FEATURES OF THE SEDIMENTARY OF QIXIA FORMATION IN SOUTH CHINA

SHI Chun-hua^{1,3}, HU Rui-zhong¹, YAN Jia-xin²

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang Guizhou 550002, China;*
2. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;*
3. *Faculty of Graduate Students, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: The geochemical features of sediments and/or rocks may be employed as important indicators for the sedimentary environment. *DOP* data analysis is made of about 69 samples collected from Laibing carbonates and its chrysanthemum stones, Cihua carbonates, Liuyang carbonates and its chrysanthemum stones, showing *DOP* data more than 0.42. This integrated with the ratio of microelements, suggests that Qixia Formation could have been deposited in dysaerobic sedimentary environments. While the value of *DOP* in the three sections indicates the amounts of oxygen in the environments, respectively of Cihua, Laibing, and Liuyang. The periodicity of the *DOP* value in the three sections, connected with the gyration of stratum, suggests the change of oxygen amount in the sedimentation periods.

Key words: Qixia Formation; geochemistry; *DOP*; dysaerobic sedimentary