

# 湘中桃江中奥陶统黑色岩系 岩石学地球化学及成因

饶雪峰 范德廉

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

**关键词** 黑色岩系 中奥陶统 桃江

**提要** 桃江中奥陶统黑色岩系主要由黑色页岩等七类岩石组成,主要矿物为伊利石、绿泥石、玉髓等。该岩系经历了强的晚期成岩作用。碳同位素( $\delta^{13}\text{C} = -9.35 \sim -20.13\%$ )等特征表明硫酸盐还原作用形成了富 $^{12}\text{C}$ 的成岩碳酸盐矿物。黑色岩系富Mn、Ba等元素, B-V图解表明它们为海相, V/Cr值表明其形成于还原环境。湘中中奥陶统黑色岩系的空间分布, 几何形态等表明其形成与氧最小带有关。

黑色岩系是指含有机碳( $>1\%$ )和黄铁矿较多的暗色泥质岩、硅岩、碳酸盐岩组合(范德廉等, 1987)。黑色岩系的研究具有重要的经济和理论意义, 已成为地球科学的重要前沿课题。湘中已积累了不少基础地质资料, 但对中奥陶统黑色岩系的进一步研究尚属空白。本文着重研究桃江中奥陶统黑色岩系的矿物学、岩石学和地球化学的特征, 成岩作用及其成因。

## 一、地质概况

在中奥陶世, 湘中地区位于扬子板块中江南列岛之南的弧后边缘海中(罗志立, 1979)。湘中中奥陶统包括胡乐组和磨刀溪组(图1), 它主要由黑色岩系组成, 在桃江其中夹有碳酸锰矿层。该黑色岩系广布于湘中桃江、安化等县境内, 古地理位置上呈平行于江南列岛的长条状分布(图2)。我们在桃江锰矿区选择了十余个中奥陶统地层剖面, 采集了200余块标本, 进行了矿物、岩石、地球化学等方面的研究工作。

## 二、矿物-岩石学特征

目前泥质岩、泥岩、粘土岩、页岩等术语的使用不太一致, 本文使用的上述岩石术语涵义如下: 泥质岩是指碎屑颗粒粒径 $<0.063\text{mm}$ 的、含量 $\geq 50\%$ 的岩石, 它包括粉砂岩、泥岩和粘土岩; 三者的相互区别在于粘土含量不同, 分别为 $0\sim 32\%$ 、 $33\sim 65\%$ 、 $66\sim 100\%$ 。具纹层状构造的泥岩和粘土岩则称为页岩。桃江中奥陶统黑色岩系主要岩石类型特征见表1, 其中

以黑色页岩、黑色粘土岩和黑色硅质页岩为主。另外，局部地区黑色岩系中还可含铁锰灰岩、碳酸锰矿、灰色和黑色泥质碳酸盐岩、灰色和黑色碳酸盐质泥岩等。

该黑色岩系主要有如下特征。(1)颜色深，常具微细水平层理，富笔石，这反映了黑

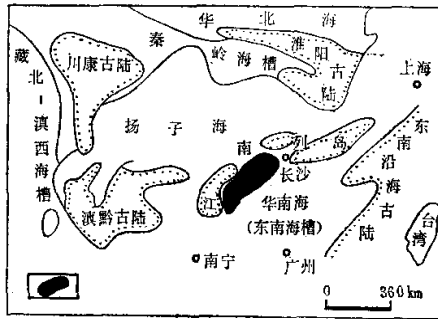


图2 湘中及邻区中奥陶统黑色岩系分布示意图(底图据赖才根等, 1982, 中奥陶世古地理图)

Fig.2 Distribution of Middle Ordovician black shale series in the Central region of Hunan Province and adjoining area

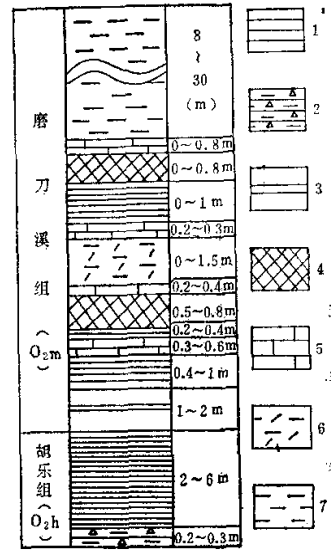


图1 桃江锰矿中奥陶统地层综合柱状图

1. 黑色页岩; 2. 松散状黑色页岩; 3. 条带页岩; 4. 碳酸锰矿层; 5. 含铁锰灰岩; 6. 碳酸盐质泥岩; 7. 灰色粘土岩

Fig.1 Columnar section of the stratigraphy of Middle Ordovician in Taojiang manganese mine field

表1 桃江中奥陶统黑色岩系主要岩石类型

Table 1 Main lithologic types of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

岩石类型	主要特征	
	矿物成分	颜色、构造
黑色页岩	伊利石、少量绿泥石、黄铁矿、绢云母、钙菱锰矿、菱锰矿、方解石、玉髓、石英	黑色、纹层状
黑色粘土岩	伊利石、少量绿泥石、玉髓、绢云母、钙菱锰矿、菱锰矿、方解石、黄铁矿	黑色、致密块状
黑色硅质页岩	伊利石、玉髓、少量绿泥石、黄铁矿、绢云母、钙菱锰矿、菱锰矿、方解石	黑色、纹层状
条带页岩	伊利石、少量绿泥石、黄铁矿、绢云母、钙菱锰矿、菱锰矿、方解石、玉髓	黑色、灰色条带相间
黑色碳酸盐质页岩	伊利石、钙菱锰矿、少量菱锰矿、绿泥石、方解石、黄铁矿、绢云母、玉髓、石英	黑色、纹层状
黑色碳酸盐质硅质页岩	伊利石、钙菱锰矿、玉髓、少量绿泥石、菱锰矿、方解石	黑色、纹层状
黑色硅岩	石英、少量伊利石、绿泥石、黄铁矿	黑色、致密块状

色岩系沉积时水体平静、无底栖生物的扰动、缺氧和沉积速率较小。微细水平层理由成分不同的深色和浅色纹层相间组成(照片1)。玉髓、碳酸盐矿物和黄铁矿也常组成纹层状构造(照片2、3、4)。(2)富玉髓、碳酸盐矿物和黄铁矿。玉髓形态有:a)粒状,散布于岩石中;b)断续纹层状(照片2),长2~3mm,常有黄铁矿纹层伴生,平行于层面延

伸；c) 显微球粒状，粒径多 $<0.15\text{mm}$ ，球粒中有时可见包有黄铁矿立方体和五角十二面体，局部球粒富集而形成平行于层面的玉髓球层(照片5)，有时玉髓转化为石英，显微球粒则由极细的石英集合体组成。碳酸盐矿物呈不规则粒状( $0.01\sim 0.1\text{mm}$ ±)或断续和连续的纹层状产出(照片3)，主要为钙菱锰矿和少量菱锰矿(图3)。

岩系中黄铁矿有如下几类：(1) 莓球状黄铁矿，在黑色泥质岩中分布普遍，粒径 $0.004\sim 0.02\text{mm}$ ±，多在 $0.01\text{mm}$ 左右，由许多约 $0.001\text{mm}$ 的近等粒黄铁矿组成(照片6)，常富集成群，是早期成岩作用的产物。(2) 显微球粒状黄铁矿，常与莓球状黄铁矿紧密伴生，但分布更广，粒径 $0.004\sim 0.02\text{mm}$ ±，多在 $0.01\text{mm}$ 左右，由单一的黄铁矿组成，是早期成岩作用的产物。(3) 自形黄铁矿，以立方体为主，见少量五角十二面体，粒径 $0.01\sim 0.1\text{mm}$ ±，形成于成岩阶段。(4) 它形粒状黄铁矿，粒径 $0.005\sim 0.05\text{mm}$ ±，散布于岩石中，多为同生成因。另外，有时可见黄铁矿结核和奇特形态的黄铁矿集合体(纺锤状、葫芦状等)，应为成岩成因。黑色岩系中同生和成岩黄铁矿同时存在表明其沉积和成岩环境都是还原的和弱酸性的。

黑色岩系中极细粘土矿物主要为伊利石，见少量绿泥石(图4、图5)。

### 三、成岩作用

Dunoyer de Segonzac(1969)用库布勒指数(或称结晶指数，即伊利石 $10\text{Å}$ 峰的半高宽)和 $I(002)/I(001)$ (伊利石 $5\text{Å}$ 和 $10\text{Å}$ 峰的强度比)的图解来划分泥质岩的成岩作用阶段以及和变质作用的界限。桃江中奥陶统黑色岩系伊利石的库布勒指数(C.I.)和 $I(002)/I(001)$ 比(图6)表明这些岩石多经历了晚期成岩作用。

根据任磊夫等(1984)用伊利石的开形指数( $N_s$ )和结晶指数( $C_r$ )划分的泥质岩的成岩作用阶段(成岩作用阶段， $N_s > 3.5\sim 1.5$ ；晚期成岩阶段， $N_s \approx 1.3\pm$ ， $C_r \approx 7\sim 10$ )。桃江中奥陶统黑色岩系大多经历了晚期成岩作用(表2)。

反光显微镜研究表明，黑色岩系中有机质颗粒有各种各样的形态，如不规则细粒状、长条状和尘点状。有时在有机质颗粒中可见许多极小的黄铁矿散布。有机质颗粒反射色为浅棕灰色，弱双反射，弱非均质性，其变质程度较高，但尚未到石墨阶段，这反映了岩系经历了较强的成岩作用。从热解分析中的 $S_0$ 、 $S_1$ 和 $S_2$ 值极小(表3)，以及岩系主要由伊利石和少

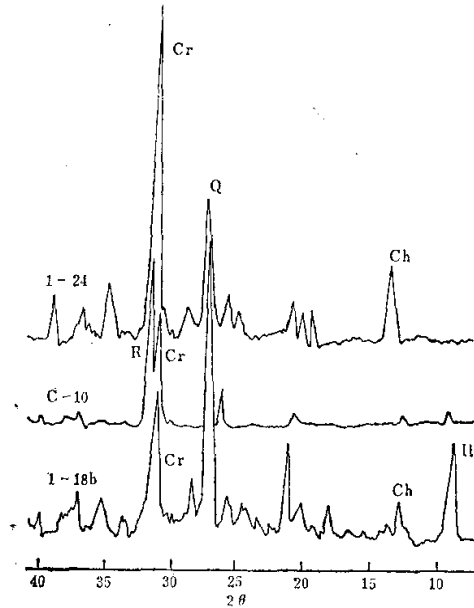


图3 桃江中奥陶统黑色岩系中(含)碳酸盐泥质岩的X射线衍射图  
1-18b 黑色含碳酸盐页岩；c-10 黑色碳酸盐页岩；1-24 灰色碳酸盐泥岩；Cr 钙菱锰矿；R 菱锰矿；Q 石英；Ch 绿泥石；Il 伊利石  
Fig.3 X-ray diffraction of carbonate mudrocks in Middle Ordovician black shale series in Taojiang

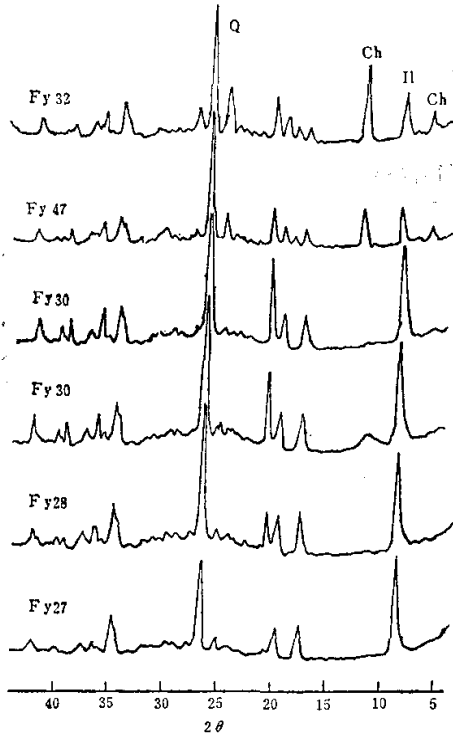


图4 桃江中奥陶统黑色岩系X射线衍射图  
Q为石英；Ch为绿泥石；IL为伊利石  
Fig.4 X-ray diffraction of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

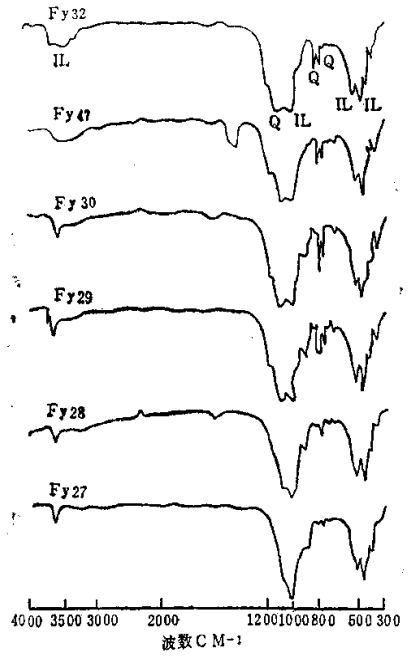


图5 桃江中奥陶统黑色岩系红外光谱图  
Q为石英；IL为伊利石  
Fig.6 Infrared spectra of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

量绿泥石组成，据此推测岩系经历了较强的成岩作用。

图7表示了Irwin et al. (1979), Coleman et al. (1979)和Tourtelot(1979)的富有机质沉积物成岩作用的四个带和特征，每个带中均有自生成岩碳酸盐矿物的生成，其区别在于 $\delta^{13}C$ 值和铁的含量。若某一种黑色泥质岩从某一种作用（如细菌发酵作用）中得到其全部的碳酸盐矿物中的碳，则据其碳同位素值可鉴别出形成该碳酸盐矿物的作用。但岩石通常含有不止一种来源的碳酸盐矿物，总碳同位素值是一个平均值，它取决于沉积成岩各阶段形成的碳酸盐矿物加入的比例。此时，则还

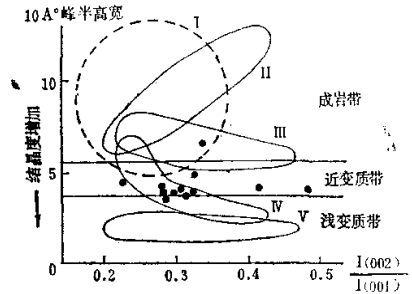


图6 泥质岩C.I.和I(002)/I(001)关系图 (Dunoyer de Segonzac, 1970)

四点为桃江中奥陶统黑色岩系投影点；I.早期成岩作用带，不存在或仅有很弱的重结晶作用；II.中期成岩作用带，重结晶作用微弱或中等；III.晚期成岩作用带，重结晶作用强烈，下部伊利石以2M型为主；IV.仅有2M型伊利石和绿泥石，仍属成岩作用带

Fig.6 C.I.-I(002)/I(001) diagram of mudrock

表 2 桃江中奥陶统黑色岩系中伊利石的 $N_s$ 、 $C_R$ 及其成岩作用阶段

Table 2  $N_s$ ,  $C_R$  values of illite and the stage of diagenesis of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

样品号	岩石类型	开形指数 $N_s$	结晶指数 $C_R$	成岩作用阶段	任森夫等 1984
Fy28	黑色页岩	1.2	9.58	晚期	早期成岩阶段;
Fy29	黑色页岩	1.4	8.21	晚期	$N_s > 3.5 \sim$
Fy30	黑色页岩	1.17	8.63	晚期	1.5; 晚
Fy32	黑色页岩	1.36	2.87	晚期	期成岩阶
1-4	黑色页岩	1	5.7	晚期	段; $N_s$
1-13	黑色页岩	2.2	5.5	早期	$\approx 1.3 \pm$
1-7	黑色粘土岩	1.27	7.5	晚期	$C_R \approx 7 \sim 10,$
1-18a	黑色含碳酸盐页岩	1	12.8	晚期	变质作
1-18b	黑色含碳酸盐页岩	1.39	6.7	晚期	用; $C_R > 10$
C-4	黑色含碳酸盐页岩	1.83	2.4	早期	

表 3 桃江中奥陶统黑色岩系岩石热解分析结果表

Table 3 Results of rock pyrolysis of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

样品号	岩石类型	$S_0$ (mg烃/g岩石)	$S_1$ (mg烃/g岩石)	$S_2$ (mg烃/g岩石)	$T_{max}$ (°C)	$C_{org}$ (%)
1-13	黑色页岩	0.00	0.04	0.02	352	1.62
1-7	黑色粘土岩	0.01	0.19	0.09	518	4.16
1-11a	黑色粘土岩	0.00	0.10	0.03	444	3.64
1-18	黑色含碳酸盐页岩	0.00	0.03	0.02	300	1.49
C-4	黑色含碳酸盐页岩	0.00	0.02	0.04	372	0.83
C-10	黑色碳酸盐质页岩	0.00	0.02	0.04	426	0.62

要借助于碳酸盐矿物的含铁量及其它共生成岩矿物来判断形成碳酸盐矿物的主要作用。

桃江中奥陶统黑色岩系中碳酸盐矿物的  $\delta^{13}C$  值均为较大的负值 (表4), 多在  $-10 \sim -13\% \pm$  (除C-10外), 而且富含成岩黄铁矿, 这表明了岩石中存在由有机质分解形成的富含  $^{12}C$  的成岩碳酸盐矿物。这些成岩碳酸盐矿物主要形成于细菌硫酸盐还原带。当黑色泥质物沉积埋藏到一定深度时, 细菌把溶解于沉积物孔隙水中的硫酸盐还原成  $S^{2-}$ , 进而形成黄铁矿, 尤其是莓球状黄铁矿, 同时沉积物中的有机质分解生成富  $^{12}C$  的  $CO_2$ , 并和溶于孔隙水中的  $Ca^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等离子反应形成钙菱锰矿等碳酸盐矿物的沉淀。

黑色泥质岩中, 随成岩碳酸盐矿物含量增加 (表4中从上至下), 其  $\delta^{13}C$  值也愈负。黑色泥质岩中碳酸盐矿物的  $\delta^{13}C$  值比

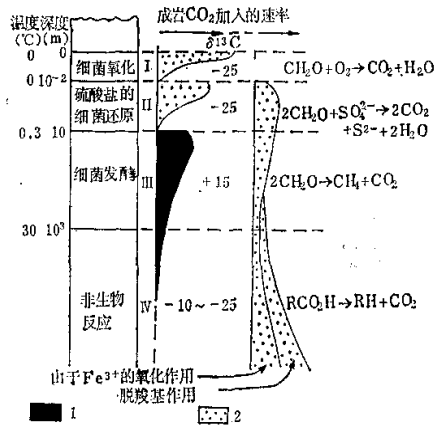


图 7 富有机质沉积物成岩作用(带)

(据 Irwin et al., 1977)

IV带之下为石油和气形成带, 再向下则过渡为变质带, 1. 同位素重  $CO_2$ ; 2. 同位素轻  $CO_2$

Fig.7 Diagenetic zones of organic-rich sediments

灰色泥质岩更负，这可能是由于黑色泥质岩沉积时有机质含量较高造成的。

#### 四、地球化学特征

泥质岩化学成分的差异反映了不同的粘土矿物组成。主要由伊利石组成的岩石， $K_2O$ 很高而 $Al_2O_3$ 低；主要由高岭石组成的岩石， $Al_2O_3$ 高而 $K_2O$ 很低。桃江中奥陶统黑色岩系化学组成列于表5，岩石为钾高铝低型，主要由伊利石组成，这与X衍射和红外光谱所实测的结果一致。

黑色岩系的Mn、V、Ni、Co含量一

表4 桃江中奥陶统黑色岩系中碳酸盐矿物的 $\delta^{13}C$ 值  
Table 4  $\delta^{13}C$  value of carbonate minerals in Middle Ordovician black shale series in Taojiang

样品号	岩石类型	$\delta^{13}C_{PDB}(\%)$
1-7	黑色粘土岩	-12.35
1-7	黑色粘土岩	-12.40
1-13	黑色页岩	-11.55
1-13	黑色页岩	-11.68
C-2	黑色硅质页岩	-12.70
1-17	黑色碳酸盐质页岩	-12.21
1-18	黑色碳酸盐质页岩	-13.44
C-10	黑色碳酸盐质页岩	-20.13
1-24	灰色碳酸盐质泥岩	-12.10
C-8	灰色碳酸盐质泥岩	-9.35

表5 桃江中奥陶统黑色岩系的化学组成(重量%)

Table 5 Chemical compositions of Middle Ordovician black shale series in Taojiang(wt%)

样品号	岩石类型	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$P_2O_5$	$FeO$	$MnO$	$CaO$	$MgO$	烧失量	总计	$CO_2$
Fy28	黑色页岩	61.23	17.18	5.50	0.46	0.86	1.19	0.08	0.61	...	0.03	1.44	11.25	99.82	—
Fy29	黑色页岩	66.49	18.86	5.29	0.29	0.84	1.35	0.06	0.15	...	0.07	1.44	4.99	99.83	—
Fy30	黑色页岩	71.07	15.24	4.59	0.07	0.78	1.25	0.05	0.30	...	0.09	1.22	4.36	99.02	—
Fy32	黑色页岩	62.51	16.56	4.09	1.40	0.85	2.78	0.09	4.72	0.08	0.15	2.72	3.80	99.81	—
1-13	黑色页岩	65.83	13.26	3.72	0.75	0.71	3.50	0.05	1.85	0.10	0.59	2.07	6.83	99.29	1.11
1-7	黑色粘土岩	54.33	15.12	4.41	0.69	0.76	7.28	0.15	1.26	0.06	0.56	1.88	12.44	98.93	0.64
1-11a	黑色粘土岩	64.50	17.25	5.11	0.76	0.78	1.26	0.07	2.76	0.04	0.27	2.26	4.36	99.42	1.08
1-18	黑色含碳酸盐页岩	49.77	13.31	3.93	0.56	0.87	3.72	0.10	1.43	4.64	4.68	3.00	12.89	98.99	7.87
c-10	黑色碳酸盐质页岩	34.80	6.14	1.20	0.24	0.48	3.12*	—	—	17.34	5.50	10.33	21.62	100.77	20.08
1-24	灰色碳酸盐质泥岩	29.13	14.78	3.53	0.68	0.53	7.31*	—	—	6.34	9.69	7.86	20.10	99.95	17.88
黑色页岩平均值		56.35	12.27	5.02	0.66		7.08	0.31			0.27	1.56			
黑色硅岩平均值		88.56	1.13	0.35	0.64		2.39	0.09			0.31	0.36			

注：—：未测；...：未测出；空白：原文缺；\*：为全铁。除 $CO_2$ 用气相色谱测量外，其他均用X荧光光谱定量测定。黑色页岩的平均值和黑色硅岩的平均值据范德廉(1978)。

般大于黑色页岩的平均值(表6)。据 Vinc et al.(1970)，美国和加拿大779个黑色页岩的有机碳平均值为3.2%，据张爱云等(1987)，我国南方海相黑色页岩有机碳含量一般为5~20%，由表3可见本黑色岩系有机碳含量相对华南黑色页岩偏低(0.62~4.16%)。

岩石中微量元素的含量和比值常具一定的指示意义。Potter et al.(1963)利用B与V、Ga等作出了一些岩相分区界线图(图8)，本区黑色岩系的V和B值落在该图的海相区内。V/Cr值是黑色页岩沉积环境的氧化还原电位指示剂，V/Cr值<2代表氧化环境，>2代表还原环境(Dill et al., 1986)，桃江黑色岩系的V/Cr值多大于2(表6)，表明它们形成于还原环境。

表6 桃江中奥陶统黑色岩系微量元素含量(ppm)

Table 6 Contents of trace elements of Middle Ordovician black shale series in Taojiang

样品号	岩石类型	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Be	Zr	Y	La	Sr	Ba	B	V/Cr
Fy28	黑色页岩	13	950	240	175	36	110	23	3.8	180	26	72	42.28	2015	—	3.958
Fy29	黑色页岩	13	170	240	130	40	80	28	3.2	160	20	64	—	2060	—	0.708
Fy30	黑色页岩	14	460	1000	110	26	105	28	3.0	140	26	65	—	1791	—	0.460
Fy32	黑色页岩	11	110	180	560	58	100	27	3.0	140	22	50	—	3401	—	0.611
1-13	黑色页岩	15	270	76	860	34	160	131	4.4	150	23	52	150	1000	75	3.553
1-7	黑色粘土岩	13	620	85	480	25	210	180	4.7	170	29	40	92	165	75	7.294
1-11a	黑色粘土岩	14	280	100	470	—	54	190	3.8	147	21	47	67	2450	—	2.800
1-18	黑色含碳酸盐页岩	11	280	72	×	127	760	138	3.1	153	16	43	340	2100	78	3.889
C-4	黑色含碳酸盐页岩	6.6	1150	76	×	93	1260	94	2.4	126	12	82	380	460	14	15.132
C-10	黑色碳酸盐页岩	5	113	46	×	36	385	50	1.4	61	13	48	630	1200	—	2.457
黑色页岩平均值 <sup>①</sup>		10	150	100	150	10	50	70	1	70	30	30	200	300	50	
黑色页岩平均值 <sup>②</sup>			300	151	31	6	108	139		107	94		135	2351		

注: ×, 大量; —, 未测出; —, 未测; 空白, 原文缺, 均为等离子定量测定; ①美国和加拿大, 799个样品, 据Vine, et al.(1970), ②湘、赣、浙寒武纪黑色岩系, 据范德廉(1978)。

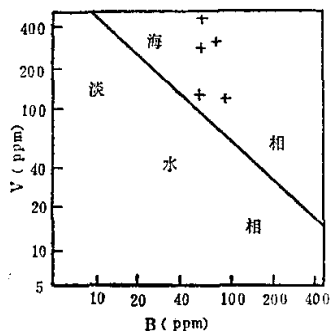


图8 黑色岩系的B-V图解(Fotter et al., 1963)

十字为桃江中奥陶统黑色岩系投影点

Fig. 8 B-V diagram of black shale series

## 五、黑色岩系的成因

桃江黑色岩系为湘中黑色岩系的一部分。湘中早奥陶世基本未见黑色岩系的沉积, 只在宁国期的末期有少量出现; 中奥陶世黑色岩系分布最广, 尤其是胡乐期; 晚奥陶世湘中黑色岩系的范围大大缩小。据刘鸿允(1959)、赖才根等(1982), 我国早奥陶世海侵开始, 其末期到达高峰, 中奥陶世海域范围与早奥陶世无明显差别, 但开始略有缩小, 晚奥陶世为明显海退时期。可见, 湘中黑色岩系的时间分布基本上与海侵海退一致, 海侵时它开始出现, 海退时开始消逝。

中奥陶世华南海中黑色岩系仅分布于边缘相对浅水区即湘中地区, 呈近于平行江南列岛的长条状(图2)。华南海相对深水区即东南海槽在中奥陶世则沉积了一套复理石、类复理石。上述的空间分布和几何形态若用局限盆地模式来解释是令人难以信服的。因为若用它来解释, 则整个华南海中都应该沉积黑色岩系, 正如现代黑海一样。事实上, 华南海中奥陶统黑色岩系仅分布于相对浅水区, 而一套砂泥质复理石类复理石则分布于相对深水区。

现代开阔海洋水柱中存在一个氧最小带。表层海水充氧，其下为氧最小带，再向下溶解氧含量又增加，氧最小带和大陆架或大陆坡区相切处即形成黑色的纹层泥。

我们用图9来解释中奥陶统黑色岩系的沉积。图中在早奥陶世新厂期不存在氧最小带，宁国期末才开始出现；中奥陶世胡乐期厚度最大，韩江期略有缩小；晚奥陶世则大大缩小。氧最小带和海盆边缘相切处即湘中则沉积了黑色岩系。我们认为上述氧最小带的扩大缩小与海侵海退、海水充氧作用以及上翻洋流作用有关。海侵、弱的水体充氧作用以及上翻洋流作用都能使水柱中的溶解氧大大减少而出现缺氧环境。

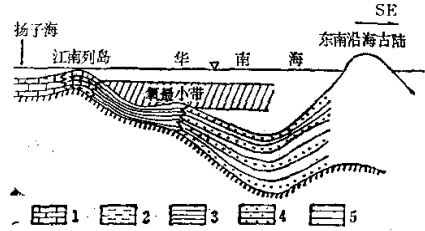


图9 奥陶纪华南沉积横剖面图

1、碳酸盐岩；2、泥质岩；3、黑色页岩；4、砂岩；5、页岩

Fig.9 Cross section of sedimentology of south of China in Ordovician

**致谢** 杨培基、刘铁兵同志曾参加了本区的野外工作，并对本文提出了宝贵意见，作者表示衷心的感谢！

### 参 考 文 献

- 刘鸿允, 1959, 中国古地理, 科学出版社, 21.
- 刘宝珺、曾允孚编, 1985, 岩相古地理基础和工作方法, 地质出版社, 311~316.
- 范德廉、杨秀珍、王连芳等, 1981, 南方几省下寒武统黑色岩系及层状多元素富集层, 沉积岩石学研究, 科学出版社, 23~45.
- 范德廉、叶杰、杨瑞英等, 1987, 扬子地台前寒武-寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用, 沉积学报, 5, 3, 81~92.
- 任磊夫、陈芸菁, 1984, 从粘土矿物的转变讨论沉积成岩到变质过程中的阶段划分, 石油与天然气地质, 5, 4, 325~333.
- 赖才根等著, 1982, 中国地层, 5, 中国的奥陶系, 地质出版社, 262~264.
- 罗志立, 1979, 扬子古板块的形成及其对中国南方陆壳发展的影响, 地质科学, 2, 127~138.
- 张爱云、伍大茂、郭丽娜等, 1987, 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义, 科学出版社, 240.
- Berner, R. A., 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: its geochemistry and environmental significance. *Am. Jour. Sci.*, 282, 445~473.
- Berner, R. A., 1984, Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochem. Cosmochim. Acta.*, 48, 605~615.
- Berry, W. B. N. and Wilde, P., 1978. Progressive ventilation of the Oceans — An explanation for the distribution of the Lower Paleozoic black shales. *Am. Jour. Sci.*, 278, 257~275.
- Dill, H. and Nielsen, 1980, Carbon-Sulphur-Iron variations and sulphur isotope patterns of Silurian graptolite shales. *Sedimentology*, 33, 745~755.
- Dunoyer de Segonzac, G., 1970, The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, 15, 281~346.
- Hallam, A., 1977, Anoxic events in Cretaceous Ocean. *Nature*, 268, 15~16.
- Irwin, H., et al., 1977, Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic rich sediments. *Nature*, 269, 209~213.
- Jenkyns, H. C., 1980, Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *J. Geol. Soc., London*, 137, 171~188.
- Jenkyns H. C. and Christopher J. C., 1986, Black shales and carbon isotopes in pelagic sediments from the Tethyan Lower Jurassic. *Sedimentology*, 33, 87~106.
- Leggett, J. K., 1980. British Lower Palaeozoic black shales and their palaeo-oceanographic significance. *J. Geol. Soc., London*, 137, 139~156.
- Potter, P. E., Shimp, N. F. and Witter, J., 1963, Trace elements in marine and fresh water Argillaceous Sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 27, 669~694.



- Schlanger, S.O. and Jenkyns, H. C., 1976. Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences. *Geol.Mijnbouw*, 55, 179~184.
- Tourtlet H.A., 1979, Black shale-its deposition and diagenesis, *Clays and Clay Minerals*.27, 313-321.
- Vine, J.D.and Tourtelot, E. B., 1970, Geochemistry of black shale deposits: A summary report. *Econ. Geol.*, 65, 253-272.

## PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THE MIDDLE ORDOVICIAN BLACK SHALE SERIES IN TAOJIANG, THE CENTRAL REGION OF HUNAN PROVINCE

Rao Xucfeng Fan Delian

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*)

**Key words:** Black shale series; Middle Ordovician; Taojiang

### Abstract

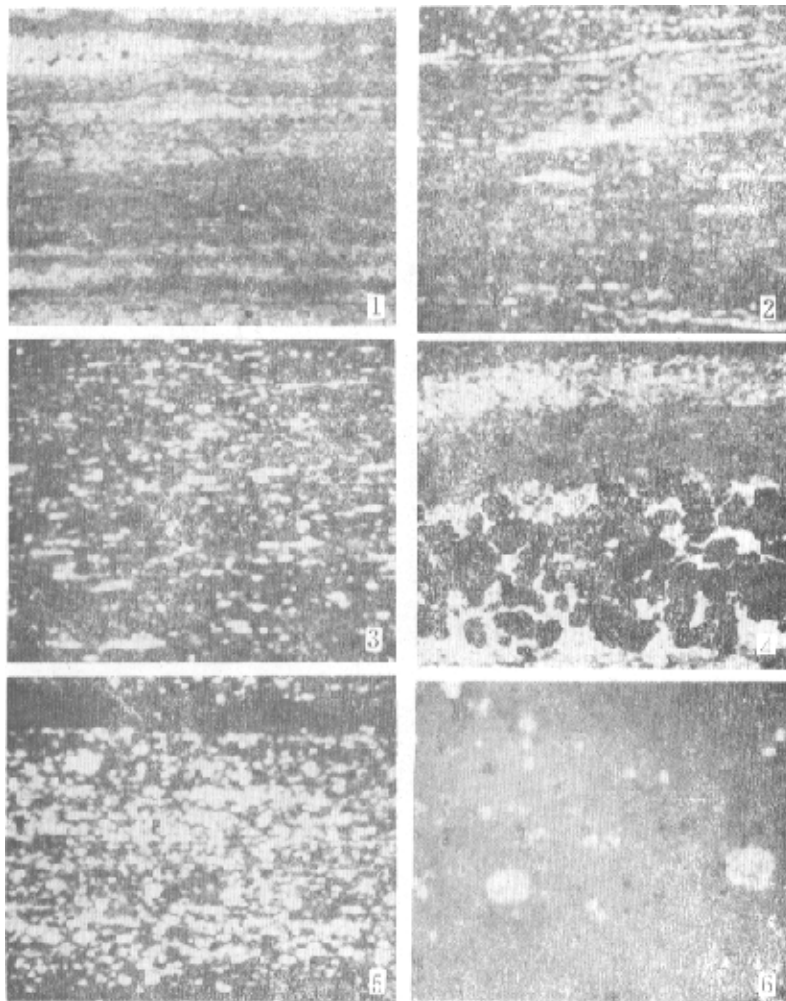
In the central region of Hunan province, Middle Ordovician includes Hule and Modaoxi Formations which mainly consist of black shale series. In Taojiang, the black shale series is mainly made up of mudrocks which can be divided into seven types, such as black shale, black siliceous shale, etc. According to microscope study, X-ray diffraction and infrared spectra, the black shale series is mainly composed of illite, chlorite and chalcedony. The black shale series is rich in carbonate minerals, chalcedony, pyrite and graptolites. The pyrites are mainly expressed as framboidal, microspherulitic, automorphic granular and allotriomorphic granular ones. The black shale series possesses dark color and microlamination which show it was formed when the water body is quiet, anoxic and lack of disturbance of benthos.

In terms of C.I. and I(002)/(001) diagram, opening index of illite, the characteristics of organic matter and rock pyrolysis, we can conclude that the black shale series in Taojiang experienced strong diagenesis. Based on the carbon isotope of carbonate minerals in black shale series, we guess that in the early stage of diagenesis, because of bacterial sulphate reduction, framboidal pyrite, microspherulitic pyrite,  $^{12}\text{C}$ -rich carbon dioxide and diagenetic carbonate minerals were formed.

The black shale series in Taojiang is rich in manganese, barium etc.. The B and V values indicate that it was formed in ocean. The V/Cr values mean that it was formed in anoxic environment. The black shale series is poorer in organic carbon comparing with the black shale series in the southern China.

The Ordovician black shale series in the South Sea of China is only distributed zonally in marginal relatively shallow water or the central region of Hunan Province. It is parallel to Jiangnan islands and their scope is related to transgression and regression. Its forming is related to the  $\text{O}_2$ -minimum zone.

碗雪峰：湘中桃江中奥陶统黑色岩系岩石学地球化学及成因



**照片说明** 1. 黑色页岩中的微细水平层理 (B-2), 单偏光,  $\times 6.25$ ; 2. 黑色含碳酸盐页岩中的玉髓纹层 (1-17), 单偏光,  $\times 6.25$ ; 3. 黑色碳酸盐质页岩中的碳酸盐矿物纹层 (1-14), 单偏光,  $\times 6.25$ ; 4. 黑色页岩中的黄铁矿纹层 (B-2), 单偏光,  $\times 10$ ; 5. 黑色硅质页岩中的玉髓球纹层 (C-2), 单偏光,  $\times 6.25$ ; 6. 黑色页岩中的莓球状黄铁矿 (1-8), 光片,  $\times 100$ 。