

# 兰坪思茅盆地第三纪矿床有机质特征 及其地质意义\*

陈广浩 尹汉辉 楚颖 刘德汉

(中国科学院长沙大地构造研究所,长沙) (中国科学院广州地球化学研究所,广州)

**提 要:** 兰坪思茅盆地第三纪矿床富含有机质,有机地球化学研究认为,矿床中的有机质处于未成熟阶段或低级成熟阶段,其分布受中轴断裂带的控制,有机质为海相、陆相的有机沉积物,生物标志显示盆地第三纪成矿为裂谷构造环境。沿中轴断裂产生的含矿热液使有机质发生热裂解,在此过程中大部分有机质消耗形成还原条件,产生大量的  $H_2S$ ,导致金属硫化物的沉淀富集;部分有机质的吸附作用,与硫酸盐、氯化物一起沉积,形成盐矿,晚第三纪成矿温度的下降,生物的还原作用,形成油气、煤。

**主题词:** 有机质 形成环境 成矿作用 兰坪思茅盆地

滇西兰坪思茅盆地为一个中新世代裂陷盆地,第三纪是盆地的重要成矿时期,超大型、大型矿床均在此时期内形成,如著名的金顶超大型铅锌矿、勐野井大型钾盐矿、诺邓盐矿和景谷盆地的石油、煤等。这些矿床富含有机质。本文将通过对上述矿床中有机质特征的分析,讨论有机质所反映的第三纪盆地的成矿、构造环境,从而揭示有机质在成矿过程中的作用。

## 1 矿床地质特征

兰坪思茅盆地沿兰坪-勐腊中轴断裂带分布着一系列新生代小型断陷盆地<sup>[1]</sup>,第三纪的铅锌、盐、石油、煤等矿床分布于这些小型断陷盆地中。

金顶铅锌矿、勐野井钾盐矿、诺邓盐矿赋存于下第三系云龙组、勐野井组。这些地层由紫红色、浅灰色细砂岩、泥岩、灰岩、角砾岩及少量石英组成,为红色碎屑岩建造和蒸发岩建造。围岩为侏罗系、白垩系。矿床呈层状、似层状,也有呈透镜状、囊状、脉状等不规则状。矿石成分较简单;金顶铅锌矿由方铅矿、闪锌矿、菱铁矿、白铁矿组成,伴有天青石、石膏;勐野井钾盐矿、诺邓盐矿主要由氯化物组成,伴生硬石膏、方解石、白云石、菱镁矿等。景谷盆地的石油、煤赋存于上第三系景谷组、福东组的内陆湖相碎屑岩建造内,其围岩为侏罗系、下第三系。根据对金顶铅锌矿床及其他矿床中45件铅同位素样品的统计<sup>[2~4]</sup>,表明金顶铅锌矿床中的铅具幔源铅特征。据统计第三纪矿床中硫同位素  $\delta^{34}S_{CDT}$  值为  $-4\% \sim 20\%$ <sup>[2~4]</sup>,变化幅度较大,表明硫来自地表。

\* 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室资助课题,编号:OGL-9021

陈广浩,男,31岁,副研究员,从事构造与成矿学的研究。邮政编码:410013

1995-6-12收稿,1995-12-15修改回。由陶景连编辑

## 2 第三纪矿床有机质特征

对金顶铅锌矿、云龙诺邓盐矿、勐野井钾盐矿及围岩样品进行有机质分析,其统计结果见表 1。

表 1 兰坪思茅盆地第三纪矿床有机质组分分析结果

Table 1. Analyses of organic components in Tertiary ore deposits of Lanping-Simao basin

地点	样品名称(样品数)	氯仿沥青 (A)( $10^{-6}$ )	有机碳 C(%)	有机质组成(%)				总烃 ( $10^{-6}$ )	总烃 有机碳	烷烃 芳烃	(A)/C (%)
				饱和烃	芳烃	非烃	沥青质				
架崖山	条带状方铅矿(5)	609.9	0.22	27.9	19.3	13.6	29.1	120.3	10.0	1.40	27.72
	致密状方铅矿(1)	61.34	0.02	40.28	17.91	25.31	7.46	39.37	19.71	2.58	30.67
	细粒黄铁矿(3)	273.7	0.11	33.9	21.9	13.9	23.2	126.7	15.1	2.50	24.9
金顶 铅锌 矿	北厂										
	条带状铅锌矿(3)	156.6	0.10	38.8	24.0	17.5	8.0	97.1	22.0	2.7	15.7
	脉状方铅矿(2)	174.2	0.19	35.9	29.8	18.2	9.1	115.1	7.46	1.3	9.16
	砂岩型矿石(3)	193.5	0.18	33.7	24.4	22.6	11.5	123.5	22.2	1.4	10.75
	致密方铅黄铁矿(2)	41.3	0.09	43.9	9.1	19.1	17.2	21.3	2.6	0.5	4.5
西坡	薄层状方铅矿(2)	57.0	0.20	32.5	14.5	32.6	8.4	27.2	1.8	2.4	2.9
围岩	第三系砂岩(2)	208.0	<0.01	5.8	1.5	11.7	72.0	36.8		3.4	
	白垩系砂岩(2)	160.0	<0.01	5.9	1.3	9.6	70.5	34.4		4.5	
	三叠系灰岩(1)	90.0	0.09	27.4	15.1	34.3	8.2	38.3	4.3	1.8	1.0
勐野井	含钾盐泥岩(2)	150.3	<0.01	0.8	1.8	16.4	68.2	20.3		1.2	
诺邓	含钠盐角砾岩(1)	125.3	<0.01	6.3	1.6	18.0	65.6	32.3		4.0	
景谷含油 地层 <sup>[5]</sup>	泥岩(21)	2378.0	0.87					1087.0	14.05	3.54	
	砂质泥岩(12)	2277.0	1.59					949.5	5.6	3.0	

注:有机碳测试单位:中国科学院广州地球化学研究所李承书,1991

### 2.1 有机质含量变化特征

不同的矿床氯仿沥青(A)和总烃含量变化较大:金顶铅锌矿氯仿沥青(A)平均含量为  $262.7 \times 10^{-6}$ , 勐野井钾盐矿为  $150.3 \times 10^{-6}$ , 诺邓盐矿为  $125.3 \times 10^{-6}$ , 景谷含油地层大于  $1000 \times 10^{-6}$ ; 总烃平均含量( $10^{-6}$ )依次为 95.7、20.3、32.3 和 1087.0。在同一矿床不同地段氯仿沥青(A)和总烃含量也有区别:金顶铅锌矿床中,架崖山、北厂、西坡矿段氯仿沥青(A)含量( $10^{-6}$ )分别为 436.9、133.5 和 57; 总烃平均含量( $10^{-6}$ )分别为 133.4、93.5、27.2。

在氯仿沥青(A)的组成中,金顶铅锌矿饱和烃和芳烃的含量高,两者之和大于氯仿沥青(A)的 50%,非烃含量低,总烃占氯仿沥青(A)的 70%~90%,沥青质大多小于 25%; 勐野井钾盐矿、诺邓盐矿中饱和烃和芳烃含量极低,小于氯仿沥青(A)总量的 12%,大量的非烃和沥青质。其中沥青质占 60%~80%; 景谷盆地含油地层饱和烃占氯仿沥青(A)的 30%~40%,芳烃占 10%,沥青质含量相对较高<sup>[5]</sup>。饱和烃、芳烃、非烃的关系如图 1-a 所示。从沥青质含量与总烃关系图中(图 1-b)可以看出金顶铅锌矿与勐野井钾盐矿、诺邓盐矿、景谷含

油地层总烃、沥青质的差异。造成差异的原因有二个：一是第三纪小型断陷盆地中有机质保存环境的不同；二是早第三纪与晚第三纪盆地演化的差异使有机质演化程度发生变化而造成的。

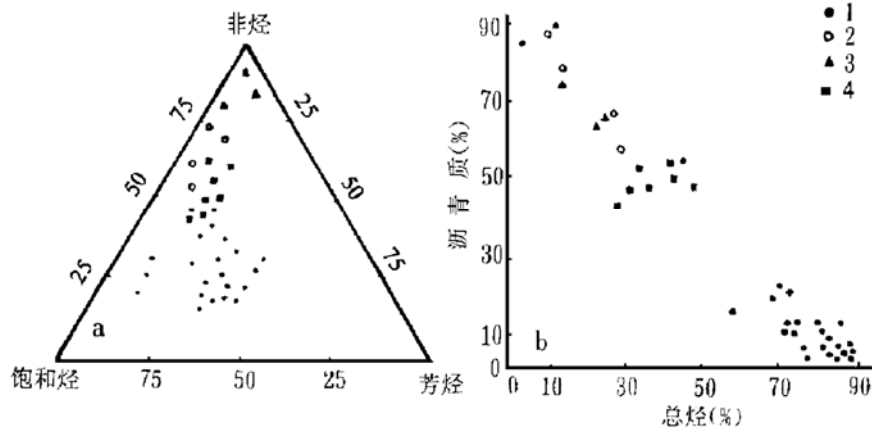


图1 可溶性有机质有关参数关系图

1—金顶；2—金顶围岩；3—诺邓、勐野井；4—含油地层

Fig. 1. Correlation of parameters of soluble organic matter.

1—Jinding; 2—Jinding host rock; 3—Nouden, Menyeying; 4—Oil-bearing strata.

## 2.2 有机碳含量

从表1中可知，除景谷含油地层外，其余矿床中有机碳含量较低，在0.01%~0.37%之间变化，其中金顶铅锌矿床20件样品有机碳平均含量为0.15%，金顶矿床围岩地层小于0.1%，诺邓、勐野井盐矿小于0.01%。景谷盆地上第三纪含油地层中，765件样品有机碳平均为1.16%，达到中生代盆地较好生油岩的指标<sup>[5]</sup>。

## 2.3 有机质成熟度

根据有机地球化学理论，氯仿沥青(A)、有机转化率(A)/C、总烃含量和氯仿沥青(A)族的组成在地质演化发展中的变化有一定的规律：在有机质未成熟阶段，(A)/C一般小于5%，总烃含量低，小于15%，非烃大于15%，沥青质变化较大；有机质成熟阶段，(A)/C及总烃含量均有较大的增长，(A)/C可达10%以上，后者可达50%，非烃降低，小于50%。从表1中总烃含量、(A)/C值、非烃及沥青质含量分析，兰坪思茅盆地有机质属未成熟、低级成熟阶段。

与围岩有机质组成比较，矿床中的(A)/C值高，饱和烃含量也高，因此总烃增加，而相应的沥青质减少，饱和烃明显高于非烃，这些现象说明原生有机质发生了明显的热效应，即在有机质参与成矿作用过程中有热的加入。

## 2.4 饱和烃特征

经柱层析法分离后的饱和烃进行气相色谱分析，部分样品结果见表2，主要特征如下：

(1) 饱和烃组成：在饱和烃中正烷烃系列占80%~90%，而其它烃类只占10%，色谱反映饱和烃、烷烃系列碳数范围在 $nC_{14} \sim nC_{35}$ 之间，碳数小于 $nC_{12}$ 的轻烃组分只在个别样品中出现，但在对轻烃组分的分析中发现，其组成非常复杂， $nC_4 \sim nC_8$ 含量较高， $nC_{35}$ 以上的重烃组分也很少。烷烃系列色谱有三个峰型，以单峰型、双峰型为主，少数为特殊的弧形峰。主峰碳的位置在 $nC_{14} \sim nC_9$ 和 $nC_{24} \sim nC_{27}$ 范围内。轻烃、重烃组分比值( $\sum nC_{20}^- / \sum nC_{20}^+$ )在不同矿床表现不同：金顶矿床平均为1.16，诺邓盐矿为1.17，勐野井钾盐矿为0.76，围岩为1.09。同

一矿床不同矿段也略有差异:金顶铅锌矿架崖山矿段平均为 1.27,北厂为 1.01,西坡为 1.54,显示以轻烃组分略占优势的特征。

表 2 部分矿区饱和烃色谱分析有关参数

Table 2. Parameters related to chromatographic analysis of saturated hydrocarbon in some ore deposits

地点	矿石类型	峰型	碳数范围	主峰碳	$\frac{Pr}{Ph}$	$\Sigma X^{\text{①}}$	$\frac{Pr}{nC_{17}}$	$\frac{Ph}{nC_{18}}$	奇偶范围	
金顶铅锌矿	架崖山	致密状方铅矿	双峰	$nC_{14} \sim nC_{34}$	18, 27	0.67	0.50	0.57	0.80	$nC_{24} \sim nC_{32}$
		条带状方铅矿	双峰	$nC_{13} \sim nC_{34}$	17, 27	0.77	0.41	0.34	0.57	$nC_{21} \sim nC_{32}$
		细粒黄铁矿石	单峰	$nC_{13} \sim nC_{32}$	17	0.50	0.64	0.45	0.82	$nC_{20} \sim nC_{29}$
	北厂	条带状铅锌矿	单峰	$nC_{12} \sim nC_{33}$	15	1.09	1.45	1.09	1.12	$nC_{20} \sim nC_{32}$
		脉状方铅矿	单峰	$nC_{13} \sim nC_{33}$	17	0.69	1.16	0.36	0.62	$nC_{21} \sim nC_{33}$
		砂岩型矿石	双峰	$nC_{14} \sim nC_{33}$	17, 27	0.56	1.01	0.70	1.47	$nC_{22} \sim nC_{32}$
		致密方铅矿	双峰	$nC_{13} \sim nC_{33}$	17, 27	0.18	0.58	0.94	0.67	$nC_{22} \sim nC_{32}$
西坡	薄层状方铅矿	单峰	$nC_{12} \sim nC_{33}$	15	1.73	2.45	1.49	1.15	$nC_{24} \sim nC_{32}$	
围岩	砂岩 (E)	特殊	$nC_{17} \sim nC_{33}$	15	0.38		0.46		不明显	
	砂岩 (K <sub>2</sub> )	特殊	$nC_{14} \sim nC_{27}$	18	0.86	1.36	0.90	0.96	$nC_{23} \sim nC_{27}$	
勐野井	钾岩	特殊	$nC_{15} \sim nC_{25}$	24	0.71	0.54	1.41	1.64	$nC_{18} \sim nC_{25}$	
诺邓	钠岩	特殊	$nC_{14} \sim nC_{27}$	18	1.17	5.80	2.10	2.00	不明显	

$$\text{①} \Sigma X = \Sigma nC_{20} / \Sigma nC_{20}$$

(2) 奇偶优势:所测定的样品大都出现奇偶优势,其范围在  $nC_{21} \sim nC_{32}$  之间,个别样品在  $nC_{18} \sim nC_{27}$  之间, OEP 值 ( $(C_{24} + 6C_{26} + C_{28}) / (4C_{25} + C_{27})$ ) 只在金顶矿床中有表现,平均为 0.89,其中架崖山矿段 OEP 值 3 件样品大于 1,6 件样品小于 1,平均 1.0;北厂矿段 OEP 值 2 件样品大于 1,9 件样品小于 1,平均为 0.84;西坡矿段 OEP 值均小于 1,平均为 0.75,显示出以奇数碳占优势的奇偶优势特点。

### 3 有机质反映的构造与成矿环境

#### 3.1 有机质赋存状态

矿石中有机质类型比较复杂,主要有以下几种表现形式:

(1) 碎屑状有机质:主要出现在金顶铅锌矿床角砾状矿石和勐野井钾盐矿、诺邓盐矿中,以碎屑沥青质及富含有机质的岩屑、碎块出现,其搬运距离不远。此类有机质在成岩、成矿过程中发生不同程度的分解、扩散和富集,有机质含量变化较大。

(2) 条带状有机质:出现在金顶铅锌矿床和景谷盆地的含煤地层中。金顶矿床角砾岩型矿石、砂岩型矿石和条带状矿石中可见有机质呈条带状,与铅锌矿等硫化物互呈条带。条带宽的约 0.4~0.5 cm,窄的约 0.1~0.2 cm,显示与矿石共生的特征。景谷含油地层中,沥青质等呈薄层状出现,有时沿裂隙发育。

(3) 粒间充填的不规则状有机质:此类有机质充填于砂粒、角砾或泥砾的空隙中,大多与粘土矿物共生,在成岩过程中形成,以金顶铅锌矿、诺邓盐矿、勐野井钾盐矿多见。

(4) 矿物包裹体有机质:多见于金顶铅锌矿床中,以包裹体形式出现。镜下荧光鉴定发现,有机包裹体形状不规则,呈长形、方形、菱形,大小不一,荧光呈蓝黄色。轻烃色谱鉴定认为包裹体多为气相、液相,组分以甲烷为主,含碳数小于 8 的轻烃组分。在诺邓,勐

野井钾盐矿中也可见到。

### 3.2 有机质分布特征

从上述矿床完整剖面有机质含量变化来看，离兰坪-勐腊中轴断裂带越远，有机质中氯仿沥青(A)含量越低，而在该断裂附近，显示氯仿沥青(A)含量最高(图2)。该处的矿石结构以碎屑状、条带状、角砾状居多。从中反映有机质在第三纪盆地中迁移距离不远，进而说明第三纪兰坪-勐腊中轴断裂带控制的断陷盆地内沉积中心，也是成矿中心。

### 3.3 生物标志物反映的成矿环境

(1) 成矿前后有机质的变化特征：统计兰坪思茅盆地古生代、中生代地层及矿床中有机质含量及其它参数<sup>[5,7]</sup>，有机质的变化趋势如图3所示。晚古生代末—中生代早期，盆地内有机质中的氯仿沥青(A)较高，其中的沥青质也高，总烃量减少。到了中生代晚期，氯仿沥青(A)及其中的沥青质减少，总烃逐渐增多。早第三纪时，沥青质与氯仿沥青(A)含量为最低，此时是金属矿床、盐类矿床的成矿时期。晚第三纪，二者含量迅速增加，为盆地油气、煤的形成时期。

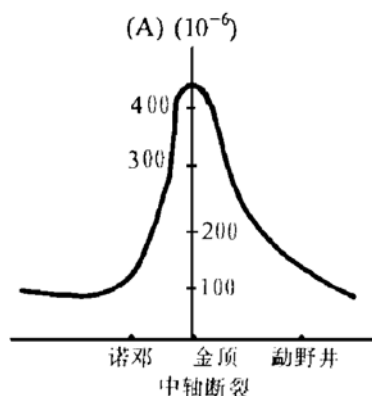


图2 兰坪-勐腊中轴断裂和有机质含量变化关系图  
Fig. 2. Relationship between Lanping-Mengla intermediate axis fault and organic matter content.

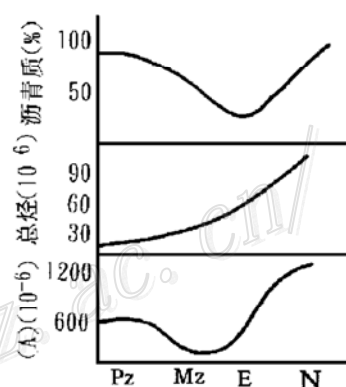


图3 不同时期有机质参数变化特征图  
Fig. 3. Variaton in parameters of organic matter of different ages.

(2) 第三纪成矿的构造环境：四类不同矿床的有机质组成中，饱和烃色谱、质谱图中发现存在类异戊二稀烷烃，是高盐裂谷盆地的指示标志物，说明盆地第三纪时兰坪-勐腊中轴断裂带具裂谷构造的特征。

(3) 成矿时的氧化还原条件：任何岩石的可溶性有机质中存在姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)，强植烷优势反映还原环境(Tissot, 1982; Connan, 1986)。对盆地中不同矿床的Pr/Ph值统计，表明矿床成矿时的环境是不同的：金顶铅锌矿成矿时大多为较强的还原环境，而位于同一构造带上的诺邓盐矿为氧化环境时成矿。同一矿床不同地段氧化还原条件亦有差异：金顶铅锌矿的架崖山、北厂矿段为还原环境时成矿，形成的矿石以硫化物为主；西坡矿段成矿时则为氧化环境，其矿石以铁帽形式出现。

从上分析可以看出，晚白垩世—早第三纪，兰坪-思茅盆地遭受喜马拉雅运动的强烈作用，沿兰坪-勐腊中轴断裂带产生基性岩、碱性岩浆的作用。这些岩浆的局部热液作用使得有机质发生较大的变化，表现在有机质的组成、数量上的变化。另外氧化还原条件的改变影响了矿产的种类和分布。

## 4 有机质在第三纪成矿过程中的作用初探

### 4.1 有机质来源

根据有机质结构构造特征,有机质至少有二大类型:一是第三纪产生的,此类有机质在岩石中与矿石呈共生关系,以条带状、粒状出现;二是由周边中生代地层混入的,此类有机质多以不规则形状出现于矿石粒间或空隙中。但其直接来源则是由生物产生的。饱和烃色谱图中的  $(nC_{21}+nC_{22}) / (nC_{28}+nC_{29})$  值可以反映原始有机物的来源。金顶铅锌矿及围岩,诺邓、勐野井等地该比值如图 4 所示,反映盆地中原始有机质母岩类型有海相成因和陆相成因,有机质来源比较复杂。从饱和烃色谱图中生物标志物特征研究可以看出,饱和烃中存在  $C_{28}$  藿烷,还存在来自海相源的  $C_{27}$  甾烷,表明盆地早第三纪有海相物质的侵入,已在金顶铅锌矿含矿地层中发现海相有孔虫、藻类生物的存在,就是例证。

可溶性有机质中的饱和烃、芳烃、非烃、沥青质及全烃中有机碳同位素为  $-25.87\% \sim -30.38\%$ , 平均为  $-27.99\%$ , 显示盆地的有机质属有机沉积物,而非岩浆成因(有机碳同位素值为  $-5.3\% \sim -7.0\%$ )。

### 4.2 有机质在成矿中的作用分析

有机质在兰坪思茅盆地成矿过程中的作用主要表现在两个方面:一方面有机质控制了盆地中还原硫的形成及成矿时的氧化还原条件;另一方面则表现在成矿元素迁移过程中的作用。

兰坪金顶铅锌矿等矿床中硫同位素  $\delta^{34}S_{CDT}$  全为负值,为生物硫成因<sup>[2~4]</sup>。包裹体测温显示铅锌成矿温度为  $270 \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>。显然低价硫的产生不是细菌的还原作用,推测为有机质经过热变质作用使硫酸盐还原产生的。热降解作用的结果使有机质大量消耗,形成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  及其它气态、液态烃类,随含矿热液一起,由成矿中心向边侧迁移,铅、锌等成矿元素与低价硫结合,形成金属硫化物的沉淀。而有机质热降解的产物部分形成液态、气态有机包裹体。反映此时的成矿环境为还原环境。而远离成矿中心的部位,有机质热降解作用程度较弱,低价硫存在较少,再加上热液作用的存在,铅锌矿床的形成以金属氧化物或硫酸盐矿物为代表,有机质参数显示此时成矿为氧化环境,在金顶的西坡铅锌矿段就是一例。故有机质在金顶铅锌矿床形成过程中作为一种有效的活化剂,加强成矿流体对矿源层中铅锌的淋滤作用<sup>[6]</sup>。其氧化还原条件的控制可以作为预测找矿的标志之一。

除有机质热降解作用使高价硫还原成低价硫外,还有一类有机物质在成矿过程中形成含碳率更高、分子量更大的产物,常与硫化物矿物质一起富集,充填于空隙中,起到与含矿物

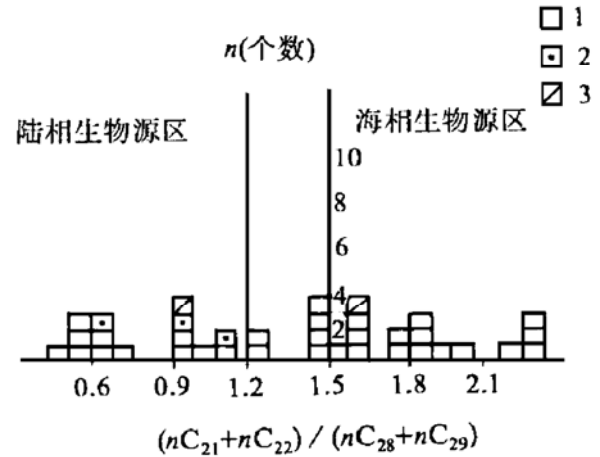


图 4 有机质来源判别直方图

1—金顶; 2—诺邓; 3—勐野井

Fig. 4. Discriminant histogram showing different sources of organic matter.

1—Jinding; 2—Nouden; 3—Meyejing.

质同沉积的作用。此类有机质不与金属硫化物以有机络合物的形式搬运，故搬运距离不远。

盐类矿床形成正是整个盆地处于氧化环境，有机质对某些矿物质具吸附作用，参与矿物质的运移，并出现于角砾的空隙中。由于热作用使盆地中水大量蒸发，有机质与硫酸盐和氯化物沉积形成蒸发岩建造。晚第三纪沿兰坪-勐腊中轴断裂带发生更深的沉降，有机质处于不被破坏的缺氧环境中，地层、岩性、岩相比较稳定。生物的还原作用较强，加上一定的储聚盖构造，形成油气和煤。

### 参 考 文 献

- 1 林舸. 中国滇西兰坪思茅盆地中轴断裂带的初步认识. 大地构造与成矿学, 1991, 15 (1): 15~21
- 2 尹汉辉, 林舸, 范蔚茗. 云南兰坪地洼盆地演化的深部因素及幔壳复合成矿作用. 大地构造与成矿学, 1990, 14 (2): 113~124
- 3 覃功炯. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测. 云南地质, 1991, 10 (2): 145~189
- 4 白嘉芬, 王长怀, 纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及其成因初探. 矿床地质, 1985, 4 (1): 1~10
- 5 罗槐章. 景谷盆地上第三系生油岩有机地球化学特征. 云南地质, 1987, 6 (3): 241~251
- 6 卢家烂, 傅家谟. 有机质与金属元素相互作用的实验地球化学. 中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放实验室研究年报 (1988), 北京: 科学出版社, 1990, 212~220
- 7 胡明安. 有机质的热液成熟作用在云南金顶铅锌矿床形成过程中的意义. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14 (5): 503~512

## CHARACTERISTICS AND GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF ORGANIC MATTER CONTAINED IN TERTIARY ORE DEPOSITS IN LANPING-SIMAO BASIN, WEST YUNNAN

Chen Guanghao, Yin Hanhui, Chu Ying

(Changsha Institute of Geotectonics, Academia Sinica, Changsha 410013)

Liu Dehan

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

**Key words:** organic matter, formation environment, metallization, Lanping-Simao basin

### Abstract

The Tertiary ore deposits in Lanping-Simao basin are rich in organic matter. Studies on organic geochemistry have yielded the following understanding: Organic matter contained in the deposits are in an immature state or in a low developmental stage; the distribution of organic matter comprising organic sediments of marine or continental facies is controlled by intermediate axis fault; the biomarker shows that the Tertiary metallization in the basin took place in a rift tectonic setting. The ore-bearing hydrothermal solution produced along the intermediate axis faults caused the pyrolysis of the organic matter; the organic matter was mostly consumed to form a reduction condition with the generation of abundant  $H_2S$  as well as the enrichment and deposition of metallic sulfides. A part of organic matter deposited together with sulfates and chlorides as a result of the absorption by terreous. The drop of ore-forming temperature and the reduction of biota led to the formation of gas and coal in Late Tertiary.