

云南金顶铅锌矿床中有机质的生物标志化合物特征及其意义

张 浩¹, 李 威², 郭 阳³

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093; 2. 四川省地质调查院, 成都 610059;
3. 成都地质矿产研究所, 成都 610082)

摘 要: 云南金顶铅锌矿床中有机质的生物标志化合物特征研究表明: 正构烷烃碳数分布范围较宽, 有两种峰型, 具弱奇偶优势; 萜烷化合物相对丰度五环三萜烷 > 三环萜烷 > 四环萜烷; 甾烷以规则甾烷为主, 规则甾烷 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 呈不对称“V”字型分布; 有机质的母质来源以低等水生生源的海藻类为主, 伴随有一定量的陆源高等植物组分; 有机质沉积于弱氧化-弱还原低盐度环境, 其成熟度较高; 样品均遭受了一定程度的热解, 这可能与成矿热液的热力作用有关, 部分样品还遭受了生物降解作用, 砂岩型矿石共生有机质的成熟度略高于角砾状矿石赋存的有机质; 生物标志化合物多参数对比表明有机质来源于三叠系三合洞组碳酸盐岩地层。

关键词: 生物标志物; 有机质; 金顶铅锌矿床; 云南省

中图分类号: P593; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)04-0319-07

0 引言

生物标志化合物也称为分子化石, 它是一类产于沉积有机质中以及原油、油页岩和煤中, 来源于活的生物体, 在有机质演化过程中具有一定的稳定性, 没有或较少发生变化, 基本保存了原始生物化学组分碳骨架, 记载了原始生物母体特殊分子结构信息的有机化合物^[1-2]。应用生物标志化合物的分布特征、结构演化模式及其参数变化识别地质体中有机质的成熟度、生物输入源及沉积古环境^[3-4], 不仅成功地应用于油气勘探实践中^[5-8], 而且还用来研究城市上空大气飘尘的有机组分及来源^[9], 作为指示污染物危害效应的生物信号, 用于水环境的监测^[10]及水源地的风险评价^[11], 根据海洋不同浮游植物的特定生物标志物定量地再造海洋浮游植物群落组成^[12], 另外, 生物标志化合物在古气候和古海洋环境变化等研究领域也有重要的应用前景^[13]。近年来, 有许多研究者将其应用于金属矿床的研究^[14-16], 利用生物标志化合物在热演化过程中结构

上的继承性和变异性研究矿床形成的热演变过程, 重建含矿地层的沉积成岩环境以及探索矿床形成条件^[2, 17-18]。

金顶铅锌矿床位于云南省西北部兰坪县金顶镇, 是目前中国最大的铅锌矿床, 在亚洲排位第二, 也是目前世界上铅锌总储量 > 1 000 万 t 的 17 个超大型铅锌矿床之一^[19]。在世界范围内该矿床不仅形成时代最新^[20], 而且是唯一陆相沉积岩容矿的超大型铅锌矿床^[21], 具有重要的科学研究价值。野外地质观察表明, 金顶铅锌矿床的矿石和部分地层岩石中广泛发育有机质, 本文通过对这些有机质的系统取样和分析, 研究了矿床的有机质组成、母质生物来源及有机质的成熟度, 并且利用生物标志化合物的多参数对比方法, 研究了矿区有机质的来源层位。

1 矿床地质概况

金顶超大型铅锌矿床位于兰坪—思茅中生代盆地的北部; 从地质力学角度看, 属于藏滇缅歹字型构造体系东支中段与三江 SN 向构造体系的复合部

收稿日期: 2009-08-23 修回日期: 2010-09-04

作者简介: 张浩(1982-), 男, 安徽全椒人, 硕士研究生, 主要从事矿床学研究。通信地址: 北京市朝阳区安外北苑五号院 4 区有色地质大厦 1007 室; 邮政编码: 100012; E-mail: zh82918@sohu.com

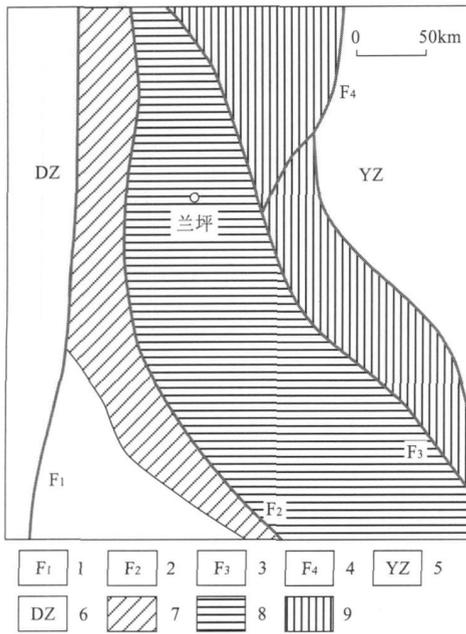


图1 兰坪盆地大地构造位置示意图

(据文献[42], 修改)

Fig. 1 The tectonic sketch map of the Lanping Basin

1. 怒江断裂带 2. 澜沧江断裂带 3. 金沙江—哀牢山断裂带 4. 中甸—剑川断裂带 5. 扬子地块 6. 滇藏地块 7. 碧罗雪山—临沧造山带 8. 兰坪盆地 9. 金沙江—哀牢山造山带

位;按板块构造理论,则处于中印板块碰撞带结合部位,为澜沧江与金沙江—哀牢山构造带之间的昌都—思茅微板块,东与扬子板块相接,西与藏滇板块毗邻(图1)。该区中生代以来一直处于活动状态,至喜马拉雅期达到顶峰^[22]。金顶矿区位于沱江断裂西侧,宏观上为一顶部宽缓的穹窿构造。由北厂、架崖山、蜂子山、西坡、南厂、白草坪和跑马坪7个矿段组成,面积约11 km²(图2)。矿区地层分为原地系统和外来系统:原地系统由白垩系虎头寺组(K_{2h})石英砂岩和古新统云龙组(E_{1y})粉砂岩、角砾岩组成;外来系统地层倒转推覆于原地系统之上,自下而上为下白垩统景星组(K_{1j})石英砂岩、中侏罗统花开左组(J_{2h})粉砂质泥岩、上三叠统麦初箐组(T_{3m})粉砂岩和上三叠统三合洞组(T_{3s})灰岩。

矿体主要产在古新统云龙组上段(E_{1y})和下白垩统景星组(K_{1j})中,呈板状、层状和似层状沿外来系统与原地系统之间的主推覆构造面分布,在穹窿构造的北、西两翼保存较好,东、南两翼因剥蚀残存不全^[23],并且越靠近穹窿顶部矿体越厚^[24]。按赋矿岩性矿石类型主要为角砾岩型和砂岩型。

金顶铅锌矿床的有机质,按其出露特征和赋存状态分两种类型:一类是肉眼可见的有机质,主要为

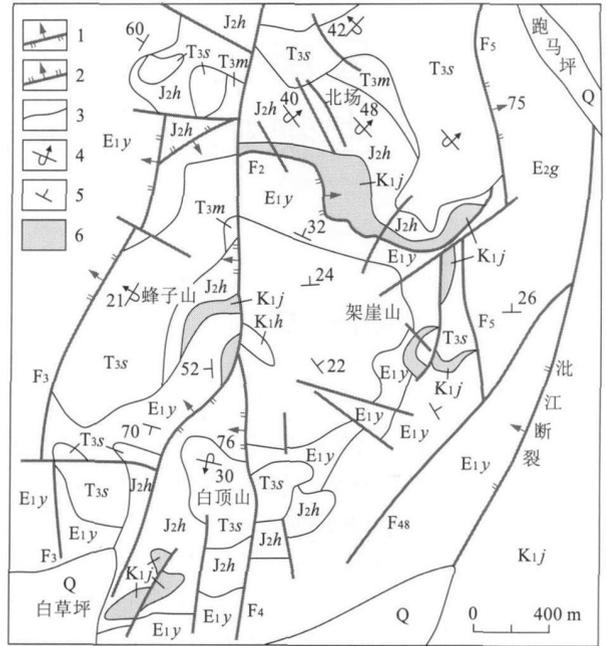


图2 金顶铅锌矿床矿区地质图

(据云南地质三大队(1989), 有修改)

Fig. 2 Geological map of the Jinding Lead-Zinc deposit

1. 逆冲推覆断层 2. 正断层 3. 地质界线
4. 倒转岩层产状 5. 正常岩层产状 6. 铅锌矿体
- T_{3s}. 三合洞组 T_{3m}. 麦初菁组 J_{2h}. 花开左组
- K_{1j}. 景星组 K_{1h}. 虎头寺组 E_{1y}. 云龙组

碳沥青,以层状或脉状赋存在三合洞组灰岩内,以及以溶孔状赋存在角砾型矿石的晶洞中,与矿石密切共生;另一类是吸附有机质,主要赋存在三合洞组灰岩、花开左组泥质粉砂岩、云龙组泥质砂岩及砂岩型矿石中,肉眼很难看到,但是敲击后油气味很浓。通过室内研究,在主成矿期成矿流体中,存在数目不等的有机包裹体。

2 实验样品及分析方法

实验样品均采自金顶矿区,在采集的过程中要注意防止杂质以及有机质的污染,将采集的样品用纸密封袋。其中2XB004和FB07是采自西坡矿段的砂岩型方铅矿矿石,2JYB是采自架崖山矿段的角砾岩型矿石晶洞内的碳沥青,FB04是花开左组的粉砂岩,BB08是三合洞组的含沥青灰岩,JB12则为矿区含矿层云龙组泥质砂岩样品。所有样品经去污、粉碎后进行分析。样品的抽提以及饱和烃的测定均是在中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院地质实验室完成的。饱和烃生物标志化合物的分析是在MAT

95S 色-质联用仪上进行。色谱柱为 DB5-MS 型毛细管(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm), 氦气作载体。升温程序: 饱和烃的起始温度 35 °C, 以 10 °C/min 升至 120 °C, 然后再以 3 °C/min 升至 300 °C, 恒温 30 min。离子源温度为 200 °C。质谱扫描方式为全扫描(Full Scan)和多离子检测(MID)方式。

3 矿床有机质生物标志物特征

3.1 有机质族组成特征

金顶矿区 6 件样品经索氏抽提结果(表 1)表明, 砂岩型矿石吸附有机质族组分以饱和烃和非烃为主, 相对平均含量分别为 44.67% 和 30.41%; 沥青质较低, 相对平均含量为 3.29%; 角砾型矿石中的有机质沥青质含量较高, 达到 34.10%; 与角砾型

矿石相比, 砂岩型矿石中有机质的(非烃+沥青质)/(烷烃+芳烃)较低, 平均为 0.57。随着有机质成熟度的增加, 非烃和沥青质的总量减少, 而芳烃和饱和烃的总量增加^[25], 因此砂岩型矿石有机质的成熟度相对较高。三合洞组灰岩和花开左组粉砂岩中的有机质族组成比较相近, 以烷烃和芳烃占优势, (非烃+沥青质)/(烷烃+芳烃)分别为 0.71 和 0.79。

3.2 正构烷烃和类异戊二烯烷烃

饱和烃总离子流图(图 3)显示, 样品的正构烷烃有两种峰型, 三合洞组灰岩和角砾状矿石显示双峰, 碳数分布范围 $n_{C15} - n_{C31}$, 主峰碳为 C_{17} 和 C_{29} 。其他样品呈前高单峰型分布, 碳数分布范围主要为 $n_{C15} - n_{C30}$, 主峰碳为 C_{17} , 具低碳数优势, 显示轻烃组分占优势。矿区样品 OEP 值平均为 1.63, 具弱奇偶优势。

表 1 金顶铅锌矿床矿石与岩石可溶有机质族组成特征

Table 1 The soluble organic fraction component characteristics of ore and rock of Jinding deposit

样品号	样品名称	有机质族组成($w_B/\%$)				烷烃+芳烃 (%)	非烃+沥青质 (%)	(非烃+沥青质)/ (烷烃+芳烃)
		饱和烃	芳烃	非烃	沥青质			
2XB004	砂岩型矿石	54.05	12.16	29.73	4.05	66.21	33.78	0.51
2JYB	角砾岩型矿石内沥青	23.70	14.45	15.61	34.10	38.15	49.71	1.30
FB07	砂岩型矿石	35.29	17.65	31.09	2.52	52.94	33.61	0.63
FB04	花开左组粉砂岩	30.42	19.90	33.17	6.80	50.32	39.97	0.79
BB08	三合洞组含沥青灰岩	25.93	27.78	22.22	16.05	53.71	38.27	0.71
JB12	云龙组泥质砂岩	38.46	11.54	47.44	3.85	50.00	51.29	1.03

样品中均检测出了类异戊二烯烷烃, 其中最重要的是姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph), 姥鲛烷是在氧化条件下植醇基团经氧化为植烷酸再经脱羧而成, 植烷则是在还原条件下植醇基团加氢脱水而成^[18]。在强还原的沉积环境中, 常见有强烈的植烷优势, 在高含盐环境中, 嗜盐菌等参加到沉积物有机质中, 并在成岩过程中被降解, 也可释放出大量的植烷^[26]; 而

在弱氧化-弱还原环境中, 常具有强烈的姥鲛烷优势^[27]。金顶矿区样品 Pr/Ph 比值为 5.42~7.53, 均具有姥鲛烷优势, 表明有机质的弱还原-弱氧化的沉积环境。Pr/ n_{C17} 和 Ph/ n_{C18} 均值分别为 0.81 和 0.23, < 1(表 2), 可能与本区有机质成熟度较高有关^[25]。

表 2 金顶铅锌矿床有机地球化学部分参数

Table 2 Some organic geochemical parameters in Jinding lead-zinc deposit

样号	正构烷烃碳数分布	主峰碳数	OEP	Pr/Ph	Pr/ n_{C17}	Ph/ n_{C18}	伽马蜡烷指数 ($n_{C21} + n_{C22}$)/($n_{C28} + n_{C29}$)	$C_{32}22S\%$	
2XB004	C_{16-30}	C_{17}	2.41	6.89	0.51	0.25	0.44	4.7	0.61
FB07	C_{15-30}	C_{17}	1.77	7.53	0.93	0.25	0.28	3.29	0.61
FB04	C_{14-31}	C_{17}	1.08	5.94	0.99	0.17	0.16	3.71	0.62
BB08	C_{15-31}	C_{17}, C_{19}	1.12	5.42	0.79	0.22	0.9	0.98	0.54
JB12	C_{16-30}	C_{17}	1.79	6.31	0.84	0.26	0.24	2.43	0.62
2JYB							1.56		0.56

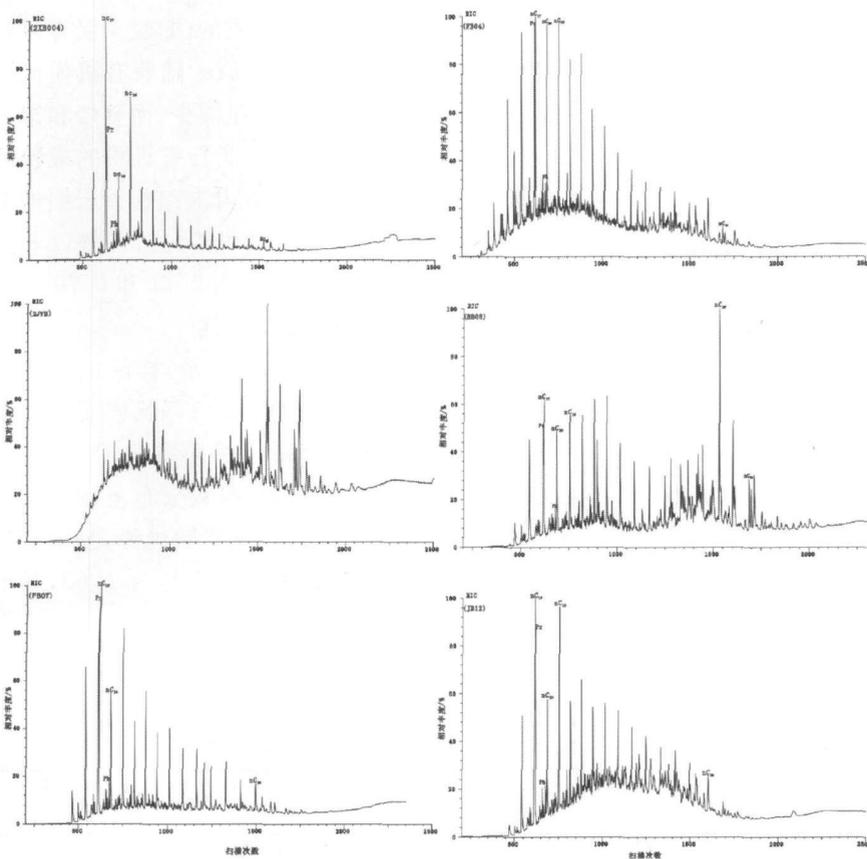


图3 金顶铅锌矿床样品总离子流图

Fig. 3 Total ion current diagram of some samples from Jinding deposit

饱和烃总离子流图也表明, 矿区有机质均遭受了一定程度的热降解和生物降解。热降解型有机质基线较为平直, 稍有隆起, 各峰顶连线圆滑^[28], 以样品 2XB004, FB07 和 BB08 为代表; 而生物降解型有机质总离子流图的最大特征是基线隆起明显, 呈特征的鼓包状, 反映在饱和烃中含有大量未被分解的复杂混合物, 但是正构烷烃已经基本消失, 表明有机质遭受过水洗或细菌类微生物的强烈降解^[29], 以样品 JB12, 2JYB 和 FB04 为代表。

3.3 萜烷

样品中检测出了三环萜烷、五环三萜烷和少量的四环萜烷, 其相对丰度五环三萜烷 > 三环萜烷 > 四环萜烷 (图 4)。同时检测出了一定量的莫烷和伽马蜡烷, 伽马蜡烷是一种 C₃₀-三萜烷, 它可以通过还原四膜虫醇生成^[30, 11], 伽马蜡烷与沉积水体盐度有关, 水体盐度越高, 伽马蜡烷含量越高^[7]。矿区有机质伽马蜡烷指数变化范围为 0.16~1.56, 平均值为 0.60 (表 2), 表明有机质沉积时水体盐度较低。

3.4 甾烷

在 m/z 217 质量色谱图上检测出少量的孕甾烷

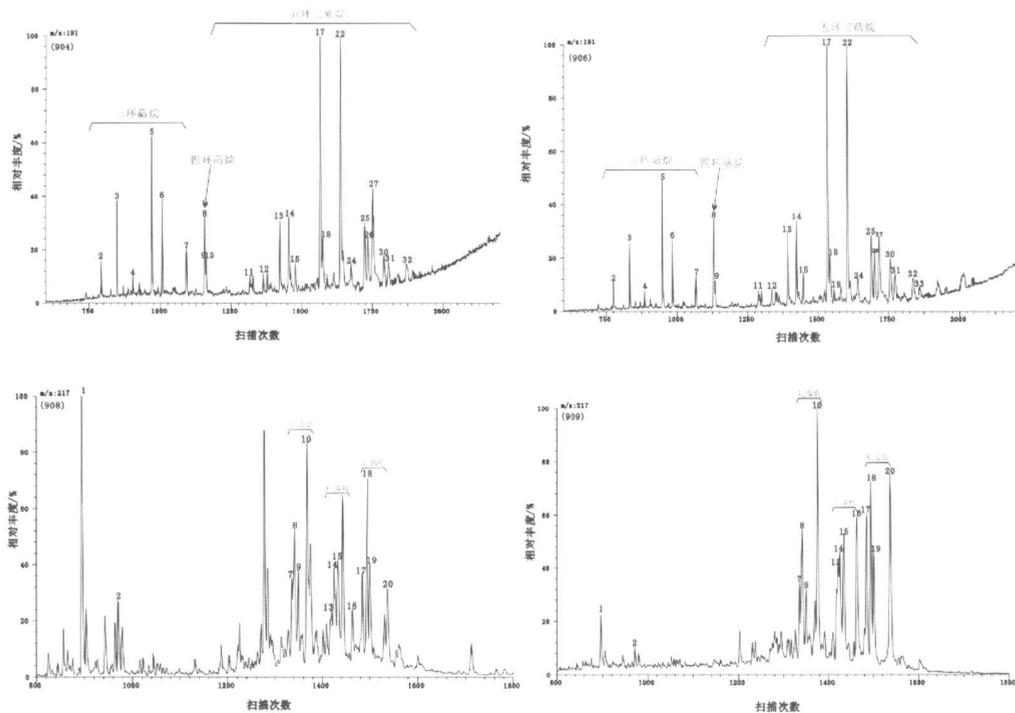
(C₂₁H₃₆)、升孕甾烷 (C₂₂H₃₈) 和规则甾烷 (C₂₇-C₂₉), 以规则甾烷为主, 规则甾烷 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 呈不对称“V”字型分布 (图 4)。同时还检测出了 C₂₀, C₂₁, C₂₆, C₂₇, C₂₈ 三芳甾类烃。相对含量以 C₂₆-三芳甾类烃 (20R) 和 C₂₇ 三芳甾类烃 (20S) 含量最高。芳甾类烃是较之萜烷、甾烷等更为稳定的生物标志物, 可以作为有效的油源对比指标, 尤其是当原油和生油岩成熟度较高或原油遭受生物降解的时候, 对比往往更加有效, 其中 C₂₇ (20R) / C₂₈ (20R) 就是一个常用的对比参数^[32, 33]。

4 生物标志物的地质意义

4.1 有机质母源分析

正构烷烃主峰碳的分布与原始母质性质有关, 以藻类为主的有机质表现为低碳数主峰特点, 其主峰多位于 C₁₅-C₂₁, 如绿藻 nC₁₇ 占优势, 褐藻 nC₁₅ 占优势^[34]; 以高等植物为主的有机质表现为高碳数主峰特点, 主峰碳多为 C₂₅-C₂₉^[35]。前述金顶矿区有机质碳数分布, 表明其母质来源以绿藻占优势的水生低等藻类生物为主, 还伴有一定份额的陆源高等植物输入。胡明安等^[36]利用公式 $(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ 的比值大小区别海相或陆相生物成因的母质类型, 当比值为 0.6~1.2 时, 属于陆相有机质输入型; 当比值为 1.5~5.0 时, 则为海相有机质输入。金顶矿区样品有机质的 $(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ 比值范围为 0.98~4.70, 平均值 3.02 (表 2), 表明有机质输入以海相为主, 同时有一定量的陆源物质输入。

高浓度的三环萜烷与富含塔斯玛尼亚藻 (Tasmanite) 的岩石有关, 表明三环萜烷可能与原始藻类有关^[37, 38]。近来的研究也同样表明, 三环萜烷的前生物为微生物和藻类^[39], 同样表明金顶矿区有机质的母源主要为菌藻类等水生生物。

图 4 金顶矿区部分样品 $m/z191$ – $m/z217$ 质量色谱图Fig. 4 Gas chromatography-mass spectrometry $m/z191$ – $m/z217$ fragmentation of some samples of Jinding deposit

4.2 有机质成熟度

22S% 值是一个常用来反映有机质成熟度的生物标志物参数, 在成熟阶段该值从 0 增加到 0.6 左右, 而 0.57~0.6 为均衡状态^[40]。一般情况下该比值在 0.5~0.54 范围内表明勉强进入生油阶段, 当比值为 0.57~0.62 则表明已达到或超过主要的生油阶段。金顶矿区矿石有机质 22S% 值分为两部分(表 2): 其一, 砂岩型矿石样品的 22S% 值皆为 0.61, 与矿区赋矿地层云龙组砂岩及花开左组粉砂岩中的有机质 22S% 值相近(均为 0.62), 表明该部分有机质已经达到成熟-过成熟演化阶段; 其二, 角砾岩矿石内沥青的 22S% 值为 0.56, 与矿区三合洞组地层中的有机质 22S% 值 0.54 近似, 表明此部分有机质成熟度相对较低, 接近成熟阶段。这与前文有机质族组成分析的结果相一致。

4.3 矿区有机质来源探讨

由于生物标志化合物结构上的继承性和稳定性, 有亲缘关系的有机质之间指标近似, 而无亲缘关

系的有机质之间生物标志物指标则会有较大的差异^[32,41], 通过对比生物标志物的特征来追踪有机质的来源在油气地质领域已经作为一种成熟的方法广泛应用于生产实践。而在金属矿床研究领域应用不多。本文选取了 2 个类异戊二烯烷烃参数, 2 个萜烷参数, 4 个甾烷参数和 1 个芳烃参数来与三合洞组灰岩进行综合对比(表 3), 这些参数包括了有机质母源参数和成熟度参数。

通过 9 项生物标志化合物参数的综合对比, 金顶矿区矿石、云龙组和花开左组地层中的有机质与矿区三合洞组赋存的有机质各个参数都非常相近, 显示它们之间极具亲缘关系。前述矿床有机质的母质来源是以低等海相藻类生物为主, 混有一定比例的陆源组分, 这与三叠系三合洞组海陆交互的沉积环境相符合^[42], 表明矿区广泛存在的有机质都来源于三叠系三合洞组地层。这与矿区有机质稀土元素特征分析得出的结果是一致的(另文发表)。

表3 金顶矿床有机质生物标志物参数对比

Table 3 Geochemical parameters contrast of biomarker of samples in Jinding deposit

样号	甾烷参数				萜烷参数		芳烃参数	类异戊二烯烷烃参数	
	5 α -C ₂₇ /	5 α -C ₂₈ /	C ₂₉ 22S%	C ₂₉ $\beta\beta$ /	$\beta\alpha$ - 莫烷/	C ₃₂ 22S%	C ₂₇ (20R)/	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
	5 α -C ₂₉	5 α -C ₂₉		($\beta\beta$ + $\alpha\alpha$)	$\alpha\beta$ - 藿烷		C ₂₈ (20R)		
2XB004	1.34	0.73	0.36	0.43	0.09	0.60	0.78	0.51	0.25
FB07	0.74	0.62	0.37	0.44	0.12	0.60	0.73	0.93	0.25
JB12	1.14	0.73	0.39	0.41	0.11	0.62	0.67	0.84	0.26
2JYB	1.24	0.32	0.45	0.55	0.08	0.56	0.75		
FB04	1.37	0.63	0.48	0.44	0.14	0.62	0.81	0.99	0.17
BB08	1.41	0.82	0.48	0.57	0.06	0.54	0.56	0.79	0.22

5 结论

通过对金顶矿床岩石、矿石样品抽提物的可溶有机质族组分分析和对吸附有机质的生物标志化合物的研究,得出以下结论:

(1) 矿床赋存的有机质正构烷烃碳数分布范围较宽,有两种峰型,具弱奇偶优势;萜烷化合物相对丰度五环三萜烷>三环萜烷>四环萜烷;甾烷以规则甾烷为主,规则甾烷 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 呈不对称“V”字型分布。

(2) 矿区有机质的母质来源以低等水生海藻类为主,尤其以绿藻为主,同时伴随有一定量的陆源高等植物组分的输入。

(3) 有机质沉积于弱氧化-弱还原低盐度环境,其成熟度较高,已经达到或接近于成熟阶段。所有样品均遭受了一定程度的热解,这可能与成矿热液的热力作用有关,部分样品还遭受了生物降解作用。砂岩型矿石共生有机质的成熟度略高于角砾状矿石赋存的有机质。

(4) 生物标志化合物多参数对比研究表明,金顶矿区矿石、云龙组和花开左组地层中的有机质与矿区三合洞组赋存的有机质各个参数都非常相近,表明它们之间具有一定的亲缘关系,认为金顶矿床的有机质都来源于三叠系三合洞组碳酸盐岩地层。

参考文献:

[1] 胡明安,罗学常,高广立. 有机质成熟异常及生物标志物的矿床学意义[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1998:10-30.

[2] 胡明安. 低温成矿系列中生物有机质的矿床学意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2000,25(4):375-379.

[3] 陈建渝. 生物标志物地球化学的新进展[J]. 地质科技情报,1995,14(1):35-44.

[4] 熊永柱,林丽,朱利东,等. 应用生物标志物参数定量判识热水沉积古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质,2006,26(1):117-

125.

[5] 吴景富,孙玉梅,席小应,等. 一种有效的油气成藏研究手段——有机包裹体生物标志物分析:以渤海中部沙东南构造带为例[J]. 岩石学报,2003,19(2):348-354.

[6] 林金辉,伊海生,邹艳荣. 藏北高原还陆相油页岩生物标志化合物对比研究[J]. 地球化学,2004,33(1):57-64.

[7] 汪巍,沈忠民,陈义才. 准北凹陷孔店组组烃源岩生物标志物特征及地球化学意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(1):42-47.

[8] 马立元,程克明,熊英,等. 营尔凹陷原油生物标志物特征及油源对比[J]. 新疆石油地质,2006,27(1):32-34.

[9] 彭林,段妙珍,沈平,等. 兰州市大气飘尘中可溶有机质的生物标志物及其来源[J]. 太原理工大学学报,1999,30(3):264-266.

[10] 王海黎,陶澍. 生物标志物在水环境研究中的应用[J]. 中国环境科学,1999,19(5):421-426.

[11] 历以强,柏仇勇,胡冠九,等. 生物标志物在水源地风险评估中的作用与展望[J]. 环境污染与治理,2004,26(4):307-310.

[12] 李丽,汪品先. 大洋“生物泵”——海洋浮游植物生物标志物[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(4):73-79.

[13] 孟宪伟,杜德文,刘振夏,等. 东海近3.5万年来古海洋环境变化的分子生物标志物记录[J]. 中国科学(D辑),2001,31(8):691-696.

[14] 庄汉平,卢家烂. 与有机质有成因联系的金属矿床[J]. 地质地球化学,1996(4):6-11.

[15] 孙省利. 西成铅锌矿田有机地球化学特征及成矿作用[J]. 甘肃地质学报,1999,8(2):58-64.

[16] 朱弟成,朱利东,林丽,等. 西成矿田泥盆系铅锌矿床中的有机成矿作用[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2003,28(2):201-206.

[17] 付修根,朱利东,熊永柱,等. 重庆城口高燕锰矿的生物标志物特征及意义[J]. 沉积学报,2004,22(4):614-620.

[18] 李厚民,毛景文,张长青,等. 滇黔交界地区玄武岩铜矿中有机质的生物标志物特征及其地质意义[J]. 地质论评,2005,51(5):539-548.

[19] 覃功炯,朱上庆. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测[J]. 云南地质,1991,10(2):145-190.

[20] Xue C J, Liu S W, Chen Y C, et al. Giant mineral deposits and their geodynamics setting in the Lanping Basin, Yun nan, China[J]. Acta Geologica Sinica,2004,78(2):368-374.

- [21] 薛春纪,陈毓川,杨建民,等. 金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 270-277.
- [22] 刘显凡,陶专,卢秋霞,等. 云南金顶超大型铅锌矿床地幔流体成矿作用探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25(增刊): 79-82.
- [23] 曾荣,薛春纪,刘淑文,等. 金顶超大型铅锌矿床成矿条件分析[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(2): 21-25.
- [24] 薛春纪,陈毓川,杨建民,等. 滇西北兰坪铅锌银铜矿田含烃富CO₂成矿流体及其地质意义[J]. 地质学报, 2002, 76(2): 244-253.
- [25] 王红梅,张文淮,谢树成,等. 广西金牙金矿床的有机地球化学特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 602-608.
- [26] 王铁冠. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境生物标志化合物[J]. 地球化学, 1990, 19(3): 256-263.
- [27] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中的分子化石的解释[M]. 姜乃煌译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 20-36.
- [28] Moldowan J M, Sundaraman P, Schoell M. Sensitivity of biomarker properties to depositional environment and/or source input in the lower Toarcian of SW-Germany [J]. In: Leythaeusre, D. Advances in Organic Geochemistry 1985. Organic Geochemistry, 1986, 10: 915-926.
- [29] 苏晶文,胡凯,李妮. 粤北凡口超大型铅锌矿有机质成矿地球化学特征[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 58-66.
- [30] Venkatesan, M I. Tetraphmanol: Its widespread occurrence and geochemical significance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 3095-3010.
- [31] Ten Haven H L, Rohmer M. Tetrahymanol, the most likely precursor of gammacerane occurs ubiquitously in marine sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 3073-3079.
- [32] 曾宪章,梁狄刚,王忠然,等. 中国陆相原油和生油岩中的生物标志物[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989: 10-28.
- [33] 梁狄刚,陈建平. 中国南方高、过成熟区海相油源对比问题[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 8-14.
- [34] Clark R C, Blumer M. Distribution of paraffines in marine organisms and sediment[J]. Limnol Oceanogr, 1967, 12: 79-87.
- [35] 易发成,杨剑,陈兴长,等. 贵州金鼎山下寒武统黑色页岩的有机地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 294-300.
- [36] 胡明安,杨铸生,贺金良. 四川石棉田湾金矿床中原生型和迁移型有机质及其成矿意义[J]. 地质科技情报, 1999, 18(1): 55-59.
- [37] Volkman J K, Kearney P, Jeffrey S W. A new source of 4-methyl and 5 α (H) - stanols in sediments: Prymnesiophyte microalgae of the genus pavlova[J]. Organic Geochemistry, 1990, 15: 489-197.
- [38] Azevedo D A, Aquino Neto F R, Simoneit B R T. Novel series of tricyclic aromatic terpanes characterized in Tasmanian tasmanite[J]. Organic Geochemistry, 1992, 18: 9-16.
- [39] 胡伯良. 塔里木盆地北部沙雅隆起雅克拉构造油气化学特征及其生产、运移及聚集[J]. 石油实验地质, 1990, 12(3): 232-247.
- [40] Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[J]. Methods in Geochemistry and Geophysics, 1986, 24: 261-290.
- [41] 王启军,陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 12-20.
- [42] 陶晓风,朱利东,刘登忠,等. 滇西兰坪盆地的形成及演化[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(5): 521-525.

CHARACTERISTICS OF BIOMARKER COMPOUNDS AND ITS IMPLICATION IN JINDING LEAD-ZINC DEPOSIT, YUNNAN, CHINA

ZHANG Hao¹, LI Wei², GUO Yang³

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Sichuan geological Survey, Chengdu 610059, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China)

Abstract: Analyzing on the extracted soluble organic and biomarkers of rocks and ores of Jinding lead-zinc deposit shows that n-alkanes is distributed in a relatively wide range with two peaks. Abundance order is pentacyclic triterpane > tricyclic terpane > quarticyclic terpane. The carbon number distribution of the steranes shows a slight predominance of C₂₈, a indication of the organic matter derivation of marine alga incorporated with a certain amount of terrigenous high grade plants. The organic matter was deposited under weak oxidation-weak reduction and low salinity environment with high maturity. All samples show exposition to pyrolysis that may related to heating of hydrothermal ore fluid and some biodegradation. The maturity of absorbed organic matter of sandstone type ore is slightly higher than the breccia type ores. Multi-parameter comparison of biomarkers reveals that the organic matter in the deposit came from Triassic carbonate rocks.

Key Words: biomarker, organic matter, Jinding lead-zinc deposit; Yunnan province