

陕西马元铅锌矿有机质与成矿作用的关系研究

侯满堂

(陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054)

摘要: 陕西马元铅锌矿的显著特征之一是富含有机质。除了肉眼和显微镜下能够识别的沥青外, 还有丰富的呈分散状的有机质, 要通过有机化学分析来确定其成分。笔者试图通过岩矿石光薄片显微鉴定、有机质含量、有机质碳同位素、饱和烃气相色谱等的测试分析, 了解有机质在岩矿石中的赋存状态、有机质组成, 认为沥青成因类型属于同生—成岩沥青、后生(改造)沥青及表生沥青; 并根据正构烷烃、姥鲛烷、植烷等生物标志物, 判别有机质母源, 分析成矿环境, 认为有机质与铅锌成矿有一定的关系。

关键词: 陕西马元; 铅锌矿; 有机质; 成矿作用

中图分类号: P618.42-43

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2009)04-0861-10

震旦纪地层广布于扬子陆块边缘, 在各地的这一层位中赋存了会东大梁子、会理天宝山、甘洛赤普大型铅锌矿床以及宁南银厂沟、甘洛沙岱、汉源团宝山、唐家中型铅锌矿床, 在桂北、湘西北、赣西北地区(江南台隆)发现了董家河、团河等铅锌矿床^[1-9], 此外, 还发现了数目繁多的小型矿床和矿点。近年来随着国土资源大调查项目的开展, 越来越多的新发现不断出现。川西南汉源—会理地区在已知矿床外围有许多新发现, 陕西南郑马元地区^[10-14]、湖北竹溪—谷城一带的灯影组发现马元、了朝阳、贵子沟、老公峪等多个铅锌矿床^[15], 湖北神农架等区也都新发现了铅锌矿点, 在扬子陆块北缘的陕西还发现了九道拐、云河、庙坝、西河、钟家沟、铅铜湾、麻柳坝、喜河等铅锌矿(化)点。这些新发现使扬子地块震旦系铅锌矿再次受到地质界的关注。特别是南郑马元地区大型铅锌矿带的发现, 对扬子陆块铅锌矿的勘查、研究有着重要的现实意义和理论意义。

马元铅锌矿的显著特征之一是富含有机质。除了肉眼和显微镜下能够识别的沥青外, 还有丰富的呈分散状的有机质, 要通过有机化学分析来确定

其成分。笔者试图通过岩矿石光薄片显微鉴定、有机质含量、有机质碳同位素、饱和烃气相色谱等的测试分析, 了解有机质在岩矿石中的赋存状态、有机质组成; 并根据正构烷烃、姥鲛烷、植烷等生物标志物, 判别有机质母源, 分析成矿环境, 进而探讨有机质与铅锌成矿的关系。

1 地质背景

陕西马元铅锌矿位于扬子陆块北缘碑坝古陆核活化杂岩区。基底由中、晚元古代火地垭群中、深变质火山碎屑岩系及晋宁—澄江期中酸性侵入岩、基性杂岩等构成, 盖层由角度不整合于基底之上的上震旦统—下寒武统浅海相碳酸盐岩—碎屑岩系构成。铅锌矿赋存于上震旦统灯影组白云岩中。

马元铅锌矿化带长大于 60 km, 宽 10~200 m, 可分为南、东、北 3 个铅锌矿化带(图 1), 已圈出了约 50 条铅锌矿体。矿化带主体由震旦系灯影组白云岩组成, 产于灯影组中上部角砾状白云岩带中。矿化主要受地层和构造的控制。经预测, 马元地区铅锌矿有较好的找矿远景, 具有形成超大型铅锌矿的潜力。

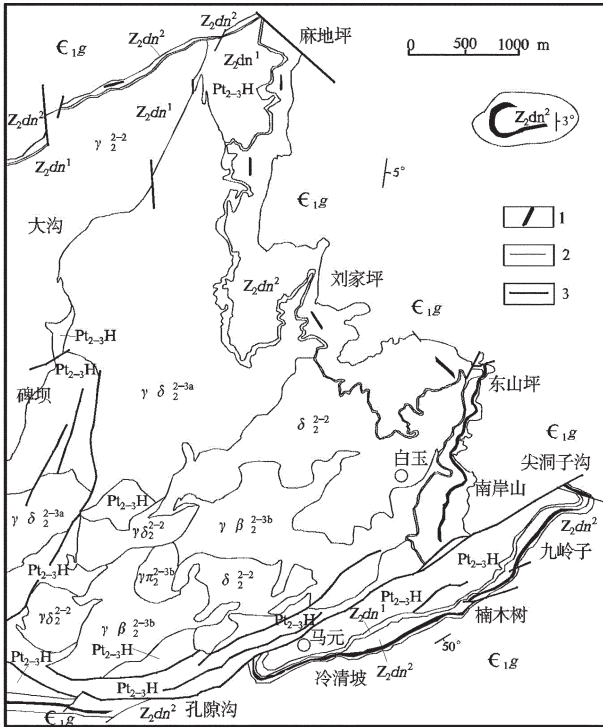


图 1 马元地区铅锌矿带地质示意图

ϵ_{1g} —下寒武统郭家坝组; Z_{2dn}^2 —上震旦统灯影组上段; Z_{2dn}^1 —上震旦统灯影组下段; Pt_{2-3H} —中、新元古代火地垭群; $\gamma \pi_{2-3b}$ —花岗斑岩; $\gamma \beta_{2-3b}$ —黑云母花岗岩; δ_{2-2} —闪长岩; $\gamma \delta_{2-2}$ —黑云母斜长花岗岩、斜长花岗岩; $\gamma \delta_{2-2}$ —辉长岩; 1—铅锌矿带; 2—地质界线; 3—断裂(灯影组与火地垭群之间为角度不整合,郭家坝组与灯影组为平行不整合,在图中未画出)

Fig. 1 Geological sketch map of the lead-zinc ore belt in Mayuan area

ϵ_{1g} —Lower Cambrian Guojiaba Formation; Z_{2dn}^2 —Upper Member of Upper Sinian Dengying Formation; Z_{2dn}^1 —Lower Member of Upper Sinian Dengying Formation; Pt_{2-3H} —Meso-Neo-Proterozoic Huodiyaqun Formation; $\gamma \pi_{2-3b}$ —Porphyry; $\gamma \beta_{2-3b}$ —Biotite granodiorite porphyry; δ_{2-2} —Diorite; $\gamma \delta_{2-2}$ —Biotite plagioclase granite, plagioclase granite; $\gamma \delta_{2-2}$ —Gabbro; 1—lead-zinc ore belt; 2—Geological boundary; 3—Fault (there are angular unconformity between Dengying Formation and Huodiya Formation and parallel unconformity between Guojiaba Formation and Dengying Formation, which are not shown in the figure)

2 有机质赋存状态和含量

马元地区铅锌矿石的矿物组合较为简单。矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿、红锌矿,少量黄铁矿、赤

铁矿、白铅矿。脉石矿物有白云石、方解石、石英、重晶石、萤石、沥青等(表 1)。

沥青多呈细小鳞片状,不规则状,片径一般在 0.004~0.02 mm,少数呈圆豆状,豆粒大小不等,最粗达 8 mm(图版 I-1、I-2、I-3)。沥青反射率较低,反射色呈浅棕褐色,双反射显著,反射多色性清晰,呈灰白色和淡棕褐色,非均质性特强(图版 I-4),偏光色灰白色微黄和淡棕黄色,标本上见豆粒状沥青具贝壳状断口。沥青在薄片不透明,在光片中细小鳞片状集合体特征清晰可辨(图版 I-2)。

沥青以集合体的形式分布在白云石脉(图版 I-5、I-6)和白云岩角砾内的白云石粒间(图版 II-1、II-2)。集合体形状受存在空间形状的控制,亦见呈细脉状穿插在白云岩角砾内的裂隙中(图版 II-3)和沥青在白云石脉内沿裂隙贯入呈脉状(图版 II-4)。圆豆状沥青只出现在白云石脉内。沥青常在矿体内及其上盘呈乳滴状。闪锌矿和沥青呈浸染状分布在白云石脉内(图版 II-5),沥青沿闪锌矿边缘和裂隙穿插交代(图版 II-6)。

马元铅锌矿中有机质通过矿石光薄片显微鉴定,主要以下几种方式赋存于矿石中:

(1)矿石中有机质有多种赋存状态,均匀地分布于矿物的晶间、粒间,有机质与矿石属于同沉积的产物。

(2)聚结于矿石角砾或碎屑的边缘,反映了有机质具有向角砾(或碎屑)边缘聚集的趋向。

(3)呈脉状分布于矿石的裂隙、同生构造滑动面中,并可沿裂隙交代白云岩、硅岩,从而呈黑色斑杂状不均匀产出,有机质的形成晚于围岩。

(4)与藻类化石伴生,常呈黑色斑块状分布白云岩溶蚀重结晶的晶洞内或白云石脉中,脉石中的斑点状、斑块状有机质属于围岩中的有机质改造而成。

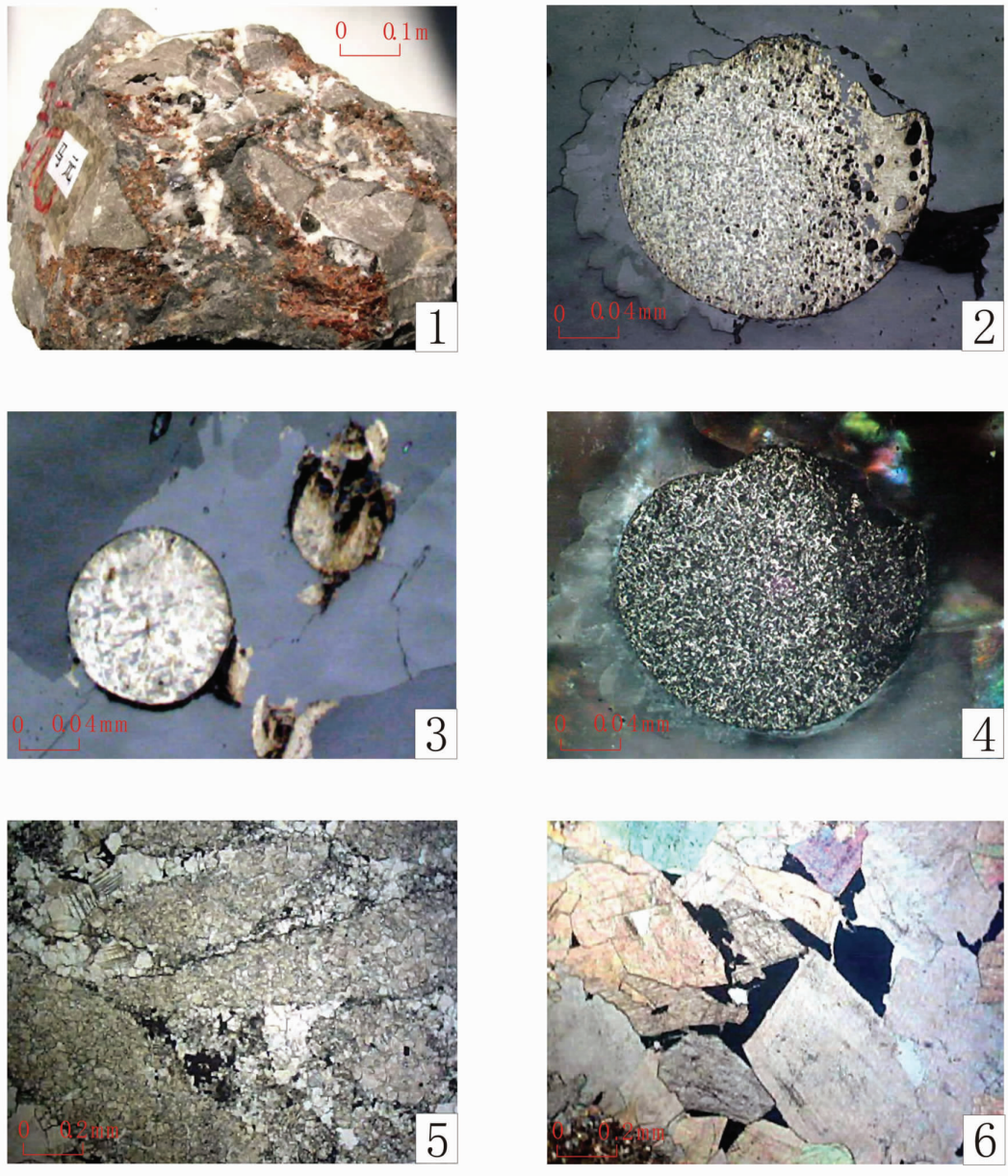
从上可以看出,有机质主要是与围岩或金属硫化物同时沉积的;也有部分有机质是围岩或矿石固结或半固结后沿矿石裂隙带入的;还有部分有机质是矿石中原有的有机质经过进一步改造聚集的。反映了有机质形成的多阶段性特点。马元地区铅锌矿中沥青成因类型属于同生-成岩沥青、后生(改造)

表 1 矿石的矿物组合

Table 1 Mineral assemblage of ores

矿石矿物	闪锌矿	方铅矿	红锌矿	黄铁矿	赤铁矿	白铅矿	褐铁矿
含量 (%)	8.81	0.22	少量	1.63	少量	微量	微量
脉石矿物	白云石	方解石	石英	沥青	重晶石	萤石	
含量 (%)	82.78		6.51	0.05	少量	微量	

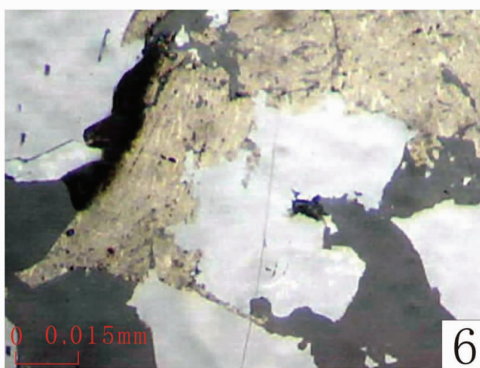
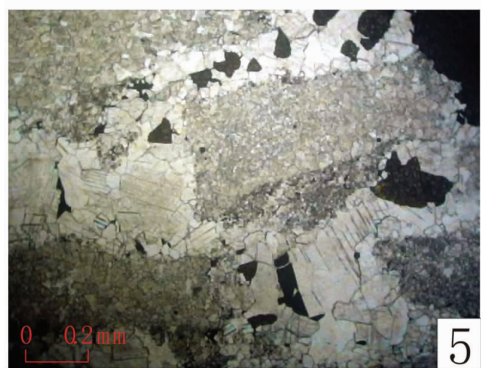
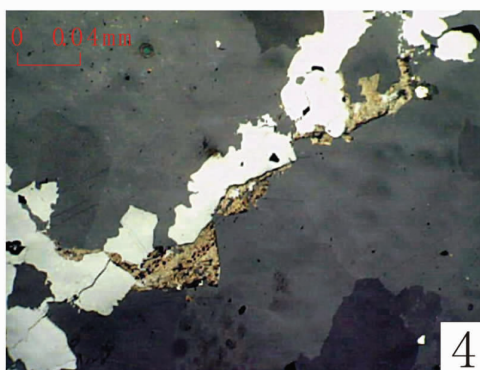
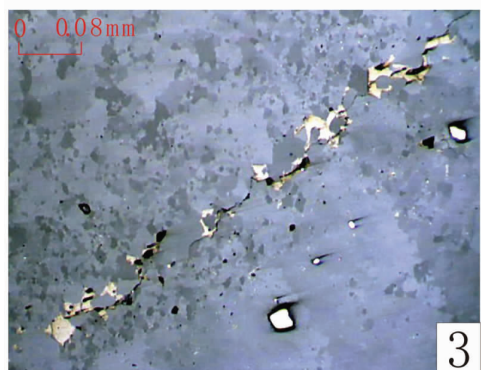
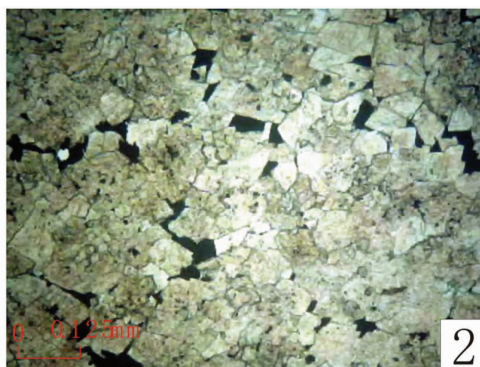
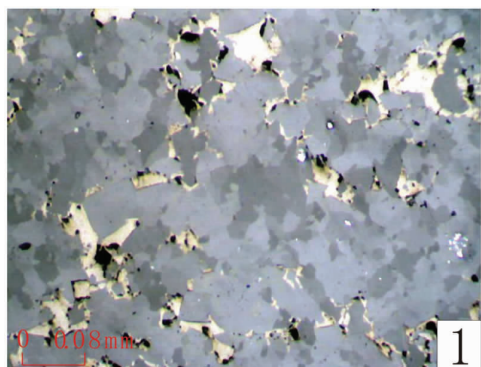
图版 I (Plate I)



1—白云石脉内有豆状沥青(b7, 手标本); 2—在白云石脉内细小鳞片状沥青(黄色)呈圆豆状集合体, 双反射和反射多色性明显(b2, 光片, 单偏光); 3—豆状沥青(黄色)在白云石脉内白云石粒间(b5, 光片, 单偏光); 4—沥青非均质性极强(b2, 光片, 单正交偏光); 5—白云石脉内有沥青(黑色)(b7, 薄片, 单偏光); 6—沥青(黑色)在白云石脉内呈不规则状集合体充填在白云石粒间(b4, 薄片, 正交偏光+云母试板)

1—Dolomite with bean-shaped asphalt in veins (b7, specimen); 2—Small scaly asphalt (yellow) in dolomite veins, assuming bean aggregates, obviously in double reflection and multi-reflection (b2, polished section, single polar); 3—Bean-like asphalt (yellow) in dolomite vein among dolomite tablets (b5, polished section, single-polar); 4—Strongly heterogeneous asphalt (b2, polished section, single polar and crossed polars); 5—Dolomite with asphalt in vein (black) (b7, thin section, single polar); 6—Asphalt (black) assuming irregular aggregates that fill intergrain space of dolomite (b4, thin section, crossed polars + mica test plate)

图版 II (Plate II)



1—沥青(黄色)不规则状集合体呈浸染状分布在白云岩角砾内白云石晶粒间(b5, 光片, 单偏光); 2—沥青(黑色)不规则状集合体呈浸染状分布在白云岩角砾内白云石晶粒间(b5, 薄片, 单偏光); 3—沥青(黄色)不规则状集合体在白云岩角砾内沿裂隙贯入呈脉状(b5, 光片, 单偏光); 4—沥青(黄色)在白云石脉内沿裂隙贯入呈脉状, 并穿插交代闪锌矿(白色)(b2, 光片, 单偏光); 5—闪锌矿和沥青(黑色)呈浸染状分布在白云石脉内(b7, 薄片, 单偏光); 6—沥青(黄色)沿闪锌矿(白色)边缘和裂隙穿插交代(b2, 光片, 单偏光)

1—Disseminated irregular-shaped asphalt (yellow) aggregates in dolomite breccia and intergrain space of dolomite (b5, polished section, single polar); 2—Irregular-shaped asphalt (black) aggregates disseminated in dolomite breccia grains (b5, thin section, single polar); 3—Irregular-shaped asphalt (yellow) assuming irregular aggregates along the fissures in breccia (B5, polished section, single polar); 4—Asphalt (yellow) in dolomite veins penetrating fissures of sphalerite (white) and replacing the latter (b2, polished section, single polar); 5—Sphalerite and asphalt (black) disseminated in dolomite veins (b7, thin section, single polar); 6—Asphalt (yellow) that penetrates along the edges and fissures of sphalerite (white) (b2, polished section, single polar)

沥青及表生沥青。

据对矿石中有机碳的含量分析表明(表 2), 铅锌矿石的有机碳含量较高, 为 0.25%~1.05%, 平均高达 0.66%($n=5$); 矿石的总硫含量也较高, 为 0.07%~3.16%, 平均高达 1.63%($n=5$)。而围岩有机碳含量较低, 有机碳含量 0.15%, 总硫含量 0.03%。

3 有机质的组成

3.1 氯仿沥青“A”组成

根据矿石的有机质组成分析结果(表 3), 5 件样品氯仿沥青“A”(可溶有机物)的含量较低(4.05~13.59 mg)。可溶有机物的族组成中, 饱和烃含量最高(1.21~1.54 mg), 其次是非烃(1.66~3.83 mg), 再次为芳香烃(0.41~6.14 mg), 而沥青质的含量较低(0.50~1.51 mg)。

3.2 生物标志化合物

为了了解矿石有机质的组分、判别有机质的来源及其形成环境, 笔者选送 5 件矿石样品进行了生物标志化物的测试分析, 现将各类生物标志物的特征阐述如下:

3.2.1 正构烷烃

正构烷烃含有高键能的碳-碳键, 结构较为稳

定, 在一定程度上能保留它原有的结构特征, 其碳数分布范围、主峰碳数、特别是碳数分布型式, 对于判定生物母源及形成环境等是十分有用的重要参数。饱和烃(正构烷烃)气相色谱分析, 其结果见表 4、图 2。谱图特征如下:

(1) 色谱曲线一般呈规则的梳状。

(2) 碳数分布范围较宽, 一般在 nC_{14} ~ nC_{29} , 通常属吸附溶解于水中的低碳数化合物所致。

(3) 主峰碳多数分布 nC_{17} 和 nC_{18} , 峰形前移, 说明原始母质以藻类为主的有机质(主峰碳 nC_{15} ~ nC_{23}), 一般指示海相或较深湖相。

(4) 基线一般平直呈馒头状或有些遭受轻度氧化后再运移, 样品部分峰形呈穹隆状分布。

(5) Ph/nC_{18} 值为 0.88~1.30。

3.2.2 姥鲨烷与植烷特征

姥鲨烷、植烷及其比值 $w(Pr)/w(Ph)$ 常作为判断原始沉积环境氧化-还原条件及介质盐度的标志。一般认为, 植烷、姥鲨烷主要来源于光合植物基侧链所形成的植醇。植醇在不同的氧化还原条件下可向不同方向转化, 在弱氧化弱还原介质条件下, 植醇易形成植醇酸, 然后进一步脱羧形成姥鲨烷; 在还原偏碱性介质条件下, 植醇则经过脱水作用而形成植烷。

表 2 矿石有机碳和硫的分析数据

Table 2 Analytical data of organic carbon and sulfur in the ore

样品号	HY2	HY3	HY4	HY5	HY6	HY7	矿石平均
取样位置	楠木树1号矿体 PD3	楠木树1号矿体 PD3	九岭子	九岭子	九岭子(围岩)	孔隙沟	
有机碳(%)	1.05	0.78	0.68	0.25	0.15	0.55	0.66
总硫(%)	2.15	3.16	1.40	0.07	0.03	1.37	1.63

注: 分析单位为中国科学院广州地球化学研究所有机分析测试中心; 分析仪器: EL III 型元素分析仪, ROCK EVAL6 型热解仪。

表 3 样品族组成数据

Table 3 Composite data of sample group

原样号	HY2	HY3	HY4	HY5	HY6 (围岩)	HY7
氯仿沥青“A”(mg)	5.95	13.59	4.05	5.25	3.92	4.96
氯仿沥青“A”, 产率 (10^{-6})	59.5	135.9	40.5	52.5	39.2	49.6
饱和烃P(mg)	1.54 (31.8)	1.40 (10.9)	1.21 (30.5)	1.27 (28.1)	0.64 (18.2)	1.33 (27.2)
芳香烃A(mg)	0.68 (14.0)	6.14 (47.6)	0.41 (10.3)	0.43 (9.5)	0.41 (11.6)	0.46 (9.4)
非烃N(mg)	2.12 (43.8)	3.83 (29.7)	1.66 (41.8)	2.31 (51.1)	1.88 (53.4)	2.42 (49.5)
沥青质B(mg)	0.50 (10.3)	1.51 (11.7)	0.69 (17.4)	0.51 (11.3)	0.59 (18.8)	0.68 (13.9)
(P+A+N+B)(mg)	4.84	12.88	3.97	4.52	3.52	4.89
氯仿沥青“A”回收率(%)	81.3	94.8	98.0	86.1	89.8	98.6
W(总烃)/W(非+沥)	0.85	1.41	0.69	0.60	0.43	0.58

注: 分析单位为中国科学院广州地球化学研究所有机分析测试中心; 括号内数字为族组成相对百分含量。

表4 样品抽提物正烷烃色谱参数

Table 4 Paraffin chromatographic parameters extracted from samples

样品编号	nC ₁₇ [*]	Pr [*]	nC ₁₈ [*]	Ph [*]	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	正烷烃碳数范围	主峰碳
HY2-P	2601.70	2247.88	3067.55	2689.00	0.84	0.86	0.88	nC ₁₅ -nC ₂₅	nC ₁₈
HY3-P	948.12	863.90	1458.88	1534.29	0.56	0.91	1.05	nC ₁₅ -nC ₂₇	nC ₁₈
HY4-P	1639.40	1282.86	987.67	1282.54	1.00	0.78	1.30	nC ₁₅ -nC ₂₉	nC ₁₇
HY5-P	1295.70	1339.76	1094.50	1193.37	1.12	1.03	1.09	nC ₁₅ -nC ₂₉	nC ₁₇
HY6-P (围岩)	731.92	511.90	1788.88	1012.00	0.51	0.70	0.57	nC ₁₆ -nC ₂₈	nC ₁₈
HY7-P	1821.17	1281.59	1265.08	1109.68	1.15	0.70	0.88	nC ₁₄ -nC ₂₉	nC ₁₇

注:分析单位为中国科学院广州地球化学研究所有机分析测试中心; * -栏内数字为峰面积。

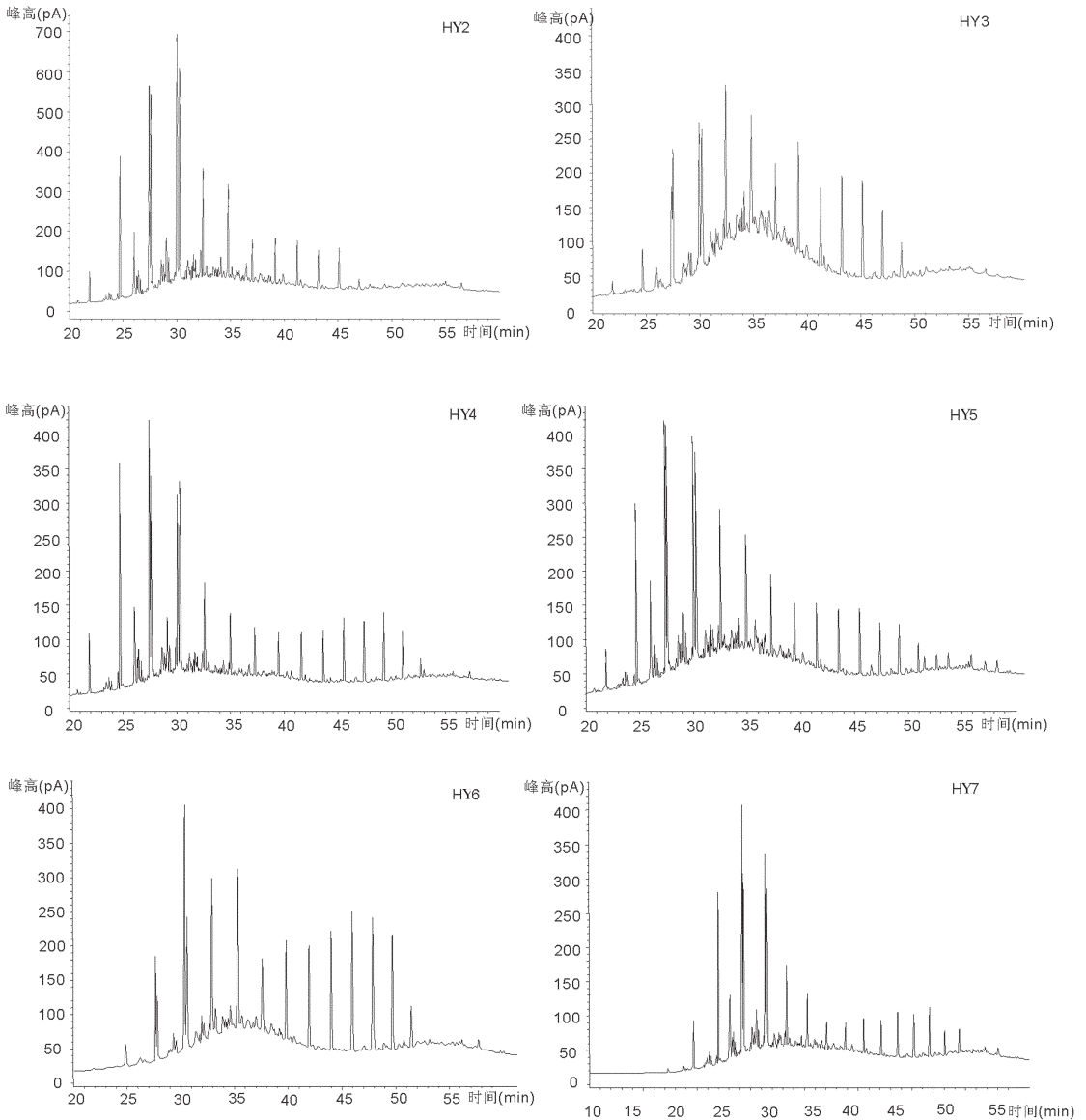


图2 抽提物正烷烃色谱图

Fig.2 Chromatogram chart of Extract paraffin

因此,高的 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值指示有机质形成于氧化环境,而低的 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值指示有机质形成于还原环境。一般认为,还原-强还原环境为 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph}) < 3$,弱氧化-氧化环境为 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph}) > 3$ ^[16]。事实上,在不

同的环境中 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值变化范围并不是一致的,其影响因素较多,如姥鲛烷和植烷的来源及成岩作用的影响等。在有机质的热演化过程中,姥鲛烷的含量增加,而植烷的含量减少,使 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值增大。

因此,使用 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值这一参数时,还应结合其他标志进行综合分析。植烷优势(较低的 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值)除指示还原环境外,还可以指示一个高盐度环境^[7]。

马元铅锌矿石姥鲛烷($w(\text{Pr})$)为 863.90~2247.88 $\text{pA}\cdot\text{s}$,植烷($w(\text{Ph})$)为 1109.68~2689.00 $\text{pA}\cdot\text{s}$, $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 值 0.56~1.15,一般认为,属高盐度,还原-强还原环境。

4 有机质的碳同位素组成特征

有机质的碳同位素组成特征是了解古环境的一项重要手段。Hayes et al.(1987,1990)指出,单体生物标志化合物在成岩阶段保持了其稳定碳同位素组成,具有相同来源的化合物表现出相似的碳同位素组成,据此可以探讨不同的有机化合物是否属于同源产物。李厚民等^[8]分析 3 件矿石标本沥青的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为-33.0‰、-33.4‰及-32.1‰。在与自然界有机和无机化合物碳同位素组成的对比图上(图 3)。对不同自然环境有机质碳同位素组成测定的结果发现,其中存在规律的变化^[9],对比发现马元铅锌矿有机质碳同位素组成与石墨碳同位素组成丰度相似。

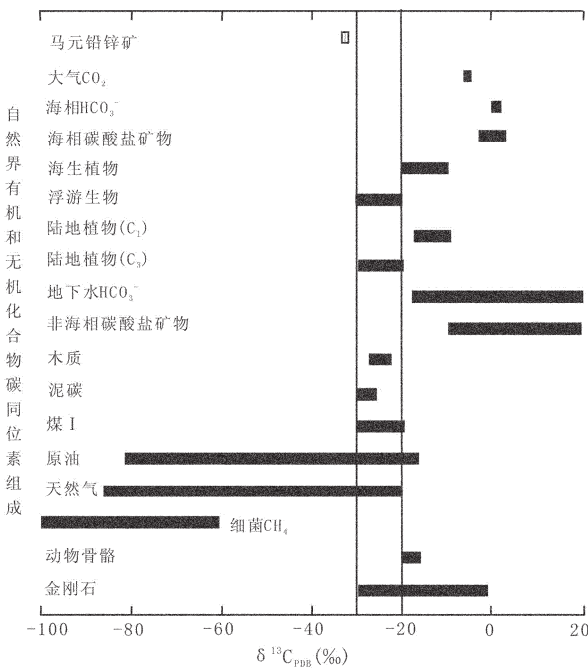


图 3 碳同位素组成对比图
(背景图据 K.E.彼得斯等,1995)

Fig.3 Comparative diagram of carbon isotope composition
(background diagram after K. E. Peters et al., 1995)

5 有机质与成矿作用的关系

生物及其衍生的有机质在金属矿床形成过程中的作用早已引起了人们的重视。20 世纪 70 年代以来,随着层控矿床理论的兴起和生物成矿作用研究的深入,发现油气藏与某些金属矿床存在时空与成因上的联系,在油气区找到了一些金属矿床,在金属矿床的成矿流体中发现大量的油气包裹体。例如,加拿大西北部阿尔伯达油田附近发现了 Pine Point 超大型铅锌矿床;在瑞典的 Laisvall 铅锌矿、美国 MVT 型铅锌矿、中国兰坪金顶铅锌矿等著名的铅锌矿床中,发现了石油、烃类、沥青等有机质的分布^[20-24]。

5.1 有机质生成世代与金属成矿作用的关系

如上所述,马元地区铅锌矿石中分布丰富的烃类、沥青等有机化合物,矿石标本的有机碳含量平均高达 0.66%($n=5$)。有机质的分布与铅锌矿形成的时间具有同步性,在产出空间具一体性。铅锌硫化物-有机质-硅质岩 3 类组分密切共生,而较早形成的不含有机质或有机质含量微少的白色硅质岩中没有金属硫化物的伴生。

有机质在沉积成岩和后生演化的不同时期,形成不同形式的有机化合物,从而表现出一定的生成世代顺序:I. 腐殖酸→II. 低成熟度干酪根→III. 有机羧酸→IV. 石油→V. 高成熟度干酪根→VI. 沥青和甲烷气→VII. 石墨和残碳^[25]。不同世代的有机质在金属矿床形成过程中的作用不同(表 5)。

综合上述有关矿石中有丰富的沥青产出的事实,表明有机质成熟度高,处于油气成熟的晚期,达到沥青、甲烷气和石墨、残碳的生成世代,即相当于表 5 中的 VI→VII 世代。据此作者认为,成矿作用过

表 5 有机质生成世代与金属成矿作用的关系^[25]
Table 5 Relationship of metallization and organic matter generation^[25]

图解	世代	作用方式	作用结果
腐殖酸	I	配合、吸附作用	富集金属元素,形成矿源层
↓			
低成熟干酪根	II	吸附、阳离子交换	进一步富集金属元素
↓			
短链羧酸	III	配合作用	活化迁移矿质,控制 pH 值
↓			
石油	IV	配合作用	萃取地层中的金属元素并迁移
↓			
高成熟干酪根	V	吸附、还原作用	从流体中富集并还原沉淀金属
↓			
沥青、甲烷气	VI	还原作用	改变成矿环境
↓			
石墨、残碳	VII		

程中有机质的作用主要表现在有机质的配合作用、吸附作用和还原作用。Gize et al^[25]指出,在石油形成前的早期成岩作用,金属离子与-COOH 结合是最重要的方式(即 III 世代羧酸的作用);而在有机质成熟度较高阶段(相当于 V、VI、VII 世代),主要表现为有机质的还原作用。

5.2 有机质成分参与了矿石流体包裹体成分

据矿石中矿物包裹体特征^[14]:闪锌矿中流体包裹体成分主要为水、无机盐(单一的盐水包裹体含量在 65%~95%),次有少量 CH₄、CO₂(此类包裹体含量 5%~30%),属于 NaCl-H₂O 体系;石英、方解石中流体包裹体成分仍以水、无机盐为主,次有少量 CH₄、CO₂,流体类型属于 NaCl-H₂O 体系。重晶石包裹体中除以上成分外还含有少量 H₂S,属于 Na-Ca-Cl-H₂O 体系。总体上成矿流体为 NaCl-H₂O 体系。包裹体中的流体成分进一步印证了 Pb、Zn、Ba 成矿元素成矿过程有有机质成分参与。

5.3 有机质碳同位素组成特征反映出铅锌矿化持续的时间较短

该区的有机质碳同位素组成特征看,δ¹³C 值变化范围很小,不像石油,天然气的 δ¹³C 值变化巨大,说明该区有机物虽然已经达到成熟阶段,但只是经历了短时间的高温热裂解,不像石油、天然气成矿过程中经历了长时间的热裂解过程,这说明该区有机质只是在成矿阶段由于成矿热液提供的热能,使其在较短的时间内达到成熟。

含矿岩石呈角砾状构造,同生角砾发育;含矿白云石脉以胶结物的形式充填胶结构造角砾;在含矿白云石脉体中,对称分带普遍发育;中间带白云石多呈自形晶,生长纹发育良好;白云石、石英垂直脉壁方向生长,并在脉体内呈梳状排列;部分石英发育成完整的短柱状自形晶;矿石发育有晶洞构造;少量闪锌矿有碎裂现象,并被热液白云石充填胶结。上述这些特征清楚反映出铅锌矿的成矿环境是在一次典型的张性断裂构造活动环境中形成的。张性断裂构造活动持续的时间较长,并具有多次活动的特征,但铅锌矿化持续的时间则较短,形成于张性断裂构造活动的较晚期阶段。成矿后仍有较轻微的张性构造活动存在。

上述反映了铅锌成矿与后期改造有关。

5.4 有机质来源和沉积环境

本矿床呈整合层状产于灯影组地层中,具有明

显的沉积特征,成矿沉积期与含矿地层基本一致。根据古生物演化历史,早寒武世尚未出现陆生高等植物,因此,可以排除有机质来源于高等植物的可能性。在铅锌矿产出区域的前寒武纪地层中,有丰富的菌藻类低等生物的发育。上震旦统陡山沱组和灯影组地层中也有丰富的叠层石发育^[1,26]。康滇地区的中、新元古代的叠层石发育,尤其是中元古代末期(1000Ma±)叠层石达到最繁盛的时期。叠层石主要由发育于海相潮间-潮下带的蓝藻生物组成,少数可能由绿藻组成。藻类生物的繁盛为沉积地层有机质的演化提供了丰富的基础。

据不完全统计,扬子陆块北缘灯影组下段古藻化石有 8 属 12 种。其中主要属种为 *Actinophycus nanjiangensis*, *A. quadricellus*, *Aocus platypluteus*, *A. muricatus*, *Siphonia herbacea*, *S. decussa*, *Gloeorrh varians*, *Balios pinguis*, *B. confertus*, *Tortofimbria dictyotos*, 灯影组上段则仅发现有 *Gloeorrh* sp. 及由蓝藻线体和蓝藻分泌物形成的藻灰结核等。据报道,中国西南地区(包括峡东区和大巴山分区)灯影组的古藻化石具有下段多,上段少的特点,下段富藻白云岩层内由下而上划分为 5 个古藻化石带: *Balios* 带、*Aocus* 带、*Actinophycus* 带、*Gloeorrh* 带及 *Phacelofimbria* 带。认为这些古藻化石带具有区域性地层对比的意义。扬子陆块北缘灯影组下段除最上 1 个 *Phacelofimbria* 带尚未发现外,其余 4 个化石带均较齐全,与邻区晚震旦世地层完全可以进行对比。此外,宁强宽川铺灯影组上段页岩中产皱节虫 cf. *Sabellidites* sp., 白云岩中有管壳 *Sinotubulites baimatuoensis*, 其上则为下寒武统底部富含多门类小壳动物化石的层位;在西乡河西及镇巴观音堂、紫阳鲁家坪、毛坝关等地,震旦系之上也发现有小壳动物化石 *Acanthoclava hexinsis*, *Conodonmorpha* 及 *Ningqiangensis* 等。

综合考虑生物标志物的母质来源和沉积环境以及区域地质背景条件,笔者认为,矿石中有机质来源于中、新元古代海生菌藻类低等生物,有机质沉积于高盐度的还原环境。

6 结 论

综上所述,马元铅锌矿有机质的组成特征及其与成矿作用关系可以得出以下几点认识:

(1) 矿石中含有热演化程度较高的有机化合物,如沥青、烃类。沥青成因类型属于同生-成岩沥青、

后生(改造)沥青及表生沥青。

(2)矿石中沥青有多种赋存状态:均匀地分布于矿物的晶间、粒间;聚结于岩矿石角砾或碎屑的边缘;呈细脉状分布于岩矿石的裂隙、同生构造滑动面中;与二氧化硅、黄铁矿等构成复杂的胶状混杂物;分布白云岩溶蚀重结晶的晶洞内。

(3)根据分子有机地球化学的研究,有机质来源于海相菌藻类低等生物,有机质形成于高盐度、还原沉积环境。

(4)有机质碳同位素组成特征反映出铅锌矿化持续的时间较短,这一结论与矿石特征相符。

参考文献(References):

- [1] 杨应选,柯成熙,林方成,等.康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M].成都:四川科学技术出版社,1994:74-93.
Yang Yingxuan, Ke Chengxi, Lin Fangcheng, et al. Genesis and Metallogenetic Rules of Lead-zinc Deposits on the Eastern Margin of the Kangdian Axis [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994:74-93(in Chinese).
- [2] 地矿部地矿司南岭铅锌矿专题组.南岭地区铅锌矿床成矿规律[M].长沙:湖南科学技术出版社,1985:34-37,74-85.
Theme Group of Ministry of Geology and Mineral Resources about LingNan Pb-Zn Ore. Mineralization Rule of Lead-zinc Deposit in Lingnan Area [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1985:34-37, 74-85(in Chinese).
- [3] 张立生.康滇地轴东缘以碳酸盐岩为主的铅锌矿床的几个地质问题[J].矿床地质,1998,17(增刊):135-178
Zhang Lisheng. Some geological problems for carbonate-hosted lead-zinc deposits on the eastern margin of the Kangdian axis [J]. Deposits Geology, 1998,17(supp.):135-138(in Chinese).
- [4] 刘文周,王奖臻,李泽琴.康滇地轴东缘铅锌矿床地球化学特征[J].矿床地质,2002,21(增刊):173-176.
Liu Wenzhou, Wang Jiangzhen, Li Zeqin. The geochemical characteristics of lead-zinc deposits at eastern margin of Kangdian Axis [J]. Deposits Geology, 2002, 21(supp.):173-176(in Chinese).
- [5] 王奖臻,李朝阳,李泽琴,等.川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比[J].矿物岩石地球化学通报,2002,21(2):50-60.
Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, et al. The comparison of mississippi Valley-type lead-zinc deposits in Southwest of China and mid-continent of United States [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(2):50-60(in Chinese).
- [6] 王奖臻,李朝阳,李泽琴,等.川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨[J].地质地球化学,2001,29(2):41-45.
Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, et al. The geological background and genesis of mineralization of Mississippi valley-type Pb-Zn deposits in Sichuan and Yunnan Provinces [J]. Geology Geochemistry, 2001, 29 (2):41-45(in Chinese).
- [7] 李泽琴,王奖臻,倪师军,等.川滇密西西比河谷型铅锌矿床成矿流体来源研究——流体Na-Cl-Br体系的证据[J].矿物岩石,2002,22(4):39-42.
Li Zeqin, Wang Jiangzhen, Ni Shijun, et al. The source of ore-forming fluids and evidence of Na-Cl-Br fluids in mississippi valley-type deposits in Sichuan and Yunnan Province in China [J]. Mineral. Petrol., 2002, 22 (4):39-42 (in Chinese with English abstract).
- [8] 吴学益,吴惠明,李省芬.扬子地块西南缘区域成矿的大地构造背景和矿床形成的构造控制[J].矿物学报,1997,17(4):376-385.
Wu Xueyi, Wu Huiming, Li Shengfen. Geotectonic setting of regional mineralization and tectonic constraints of the formation of deposits on the southwestern margin of the Yangzi terrain [J]. Mineral Journal, 1997,17 (4): 376-385 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邵世才,李朝阳.扬子地块西缘震旦系灯影组层控铅锌矿床的成矿规律及形成超大型矿床的可能性[J].云南地质,1996,15(4):345-350.
Shao Shicai, Li Zhaoyang. Metallogenetic rules of the stratabound Pb-Zn deposit and its possibility of forming super-large ore deposit in Dengying Formation of the west margin of Yangzi massif [J]. Yunnan Geology, 1996, 15 (4):345-350(in Chinese with English abstract).
- [10] 齐文,侯满堂,汪克明,等.陕西南郑马元一带发现大型层控型铅锌矿带[J].地质通报,2004,23(11):1139-1142.
Qi Wen, Hou Mantang, Wang Keming, et al. A discovery on a large stratabound lead-zinc ore belt in the Mayuan district of Nazhen county, Shaanxi [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (11):1139-1142(in Chinese with English abstract).
- [11] 齐文,侯满堂,王根宝.上扬子地块震旦系铅锌矿床类型及找矿方向[J].地球科学与环境学报,2006,28(2):30-36.
Qi Wen, Hou Mantang, Wang Genbao. Sinian system Pb-Zn deposit types and prospecting direction of upper Yangtze Platform [J]. Journal of earth sciences and environment, 2006, 28 (2):30-36 (in Chinese with English abstract).
- [12] 芮宗瑶,叶锦华,张立生,等.扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿床[J].中国地质,2004,31(4):337-346.
Rui Zongyao, Ye Jinhua, Zheng Lisheng, et al. Pb-Zn depts on the perimeter of the Yangtze craton and the margins of its uplifts [J]. Geology in China, 2004, 31(4):337-346(in Chinese with English abstract).
- [13] 侯满堂,王党国,杨宗让,等.陕西马元地区铅锌矿地质特征及找矿远景[J].中国地质,2007,34(1):101-109.
Hou Mantang, Wang Dangguo, Yang Zongrang, et al. Geology of lead-zinc mineralization in mayuan area of shaanxi province [J]. Geology in China, 2007, 34(1):101-109(in Chinese with English abstract).
- [14] 侯满堂,王党国,邓胜波,等.陕西马元地区铅锌矿地质特征及矿床类型[J].西北地质,2007,40(1):42-60.

- Hou Mantang, Wang Dangguo, Deng Shengbo, et al. Geology and genesis of the Mayuan lead-zinc mineralization belt in Shaanxi province [J]. *Northwestern Geology*, 2007, 40(1):42-60 (in Chinese with English abstract).
- [15] 林长谦, 温礼琴. 湖北竹溪-谷城一带铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. *资源环境与工程*, 2005, 19(2):76-82.
- Lin Changqian, Wen Liqin. The geological characteristics and prospecting direction of lead-zinc deposits on Zhuxi-Gucheng in Hunan Province [J]. *Resources Environment and Engineering*, 2005, 19(2):76-82 (in Chinese).
- [16] 李玉恒, 等. 储油岩热解地球化学录井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- Li Yuheng, etc. *Reservoir Rock Pyrolysis and the Geochemical Logging Evaluation Technology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993 (in Chinese).
- [17] 李浩春. 分析手册, 第五分册, 气相色谱分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- Li Haochun. *Analysis of Manual, Fifth Volumes, Gas Chromatography Analysis* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999 (in Chinese).
- [18] 李厚民, 陈毓川, 王登红, 等. 陕西南郑地区马元锌矿的地球化学特征及成矿时代[J]. *地质通报*, 2007, 26(5):546-552.
- Li Houmin, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. Geochemistry and mineralization age of the Mayuan zinc deposit, Nanzheng, southern Shaanxi, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(5):546-552 (in Chinese with English abstract).
- [19] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003, 303-337.
- Han Yinyun, Ma Zhendong. *Geochemistry* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:303-337.
- [20] 卢家烂, 傅家谟, 彭平安, 等. 金属成矿中的有机地球化学研究[M]. 广州: 广州科技出版社, 2004.
- Lu Jialan, Fu Jiamo, Peng Pingan, et al. *Metallogenic Study of Organic Geochemistry in Metal-forming* [M]. Guangzhou: Guangzhou Science and Technology Press, 2004 (in Chinese).
- [21] Richards M A, Duncan R A, Courtillot V E. Flood basalts and hot spot tracks: plume heads and tails [J]. *Science*, 1989.
- [22] Girodano T H. A preliminary evolution of organic ligands and metalorganic complexing in Mississippi Valley-type ore solutions [J]. *Econ Geol*, 1985.
- [23] Gize A, Barnes H L. The organic geochemistry of two Mississippi Valley-type lead-zinc deposits [J]. *Economic Geology*, 1987.
- [24] 张金亮, 常象春. 金顶铅锌矿床油气地球化学特征及其成矿作用探讨[J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(2):104-114.
- Zhang Jinliang, Chang Xiangchun. Geochemical characteristics of hydrocarbon-bearing area Pb-Zn ore deposits in Jinding and their metallogenic role [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(2):104-114 (in Chinese with English abstract).
- [25] 庄汉平, 卢家烂. 金属矿床中的有机物质: 特征、分类方案与研究方法 [J]. *地球科学进展*, 1996, 11(4):47-52.
- Zhuang Hanping, Lu Jialan. Organic matter in ore deposits: characteristics classification and analytical methods [J]. *Advances in Earth Science*, 1996, 11(4):47-52.
- [26] 朱士兴, 等. 中国叠层石[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993.
- Zhu Shixing, et al. *Chinese Stromatolites* [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1993.

The relationship between organic matter and lead-zinc mineralization in the Mayuan lead-zinc deposit, Shaanxi Province

HOU Man-tang

(*Geological Survey of Shaanxi Province, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

Abstract: The existence of rich organic matter constitutes one of the notable features of the Mayuan lead-zinc deposit in Shaanxi Province. In addition to the asphalt that can be identified by naked eyes and microscope, there occurs extremely abundant scattered organic matter whose composition needs to be analyzed by means of organic chemistry. Based on a microsection identification of rocks and minerals, an analysis of content and isotopes of the organic matter, and chromatography of saturated hydrocarbon gas, the author revealed the modes of occurrence and composition of organic matter in rocks, and concluded that the types of asphalt are syngenetic-diagenetic asphalt, epigenetic (remolded) asphalt and supergene asphalt. On the basis of such biomarkers as n-alkanes, pristane and phytane, the composition of the organic matter can be determined, the ore-forming environment can be analyzed, and the relationship between the organic matter and lead-zinc can be detected.

Key words: Mayuan in Shaanxi Province; lead-zinc mineralization; organic matter; metallogenesis

About the author: HOU Man-tang, male, born in 1958, senior engineer, engages in exploration and research of mineral resources; E-mail: xahmt@163.com.