

毕家山铅锌矿床有机地球化学研究 (I): 可溶有机质特征与矿床若干成因问题探讨^①

段毅¹ 徐雁前² 马兰花³ 申秀荣³

¹ (中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000) ² (长庆石油勘探局勘探开发研究院, 庆阳 745101)

³ (国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

提 要 本文对毕家山铅锌矿床和围岩中可溶有机质进行了分析, 研究了矿床中有机质的性质、来源和成熟度, 进而探讨了矿床中有机质的原始运移形式、成矿溶液可能的成因以及矿床形成的环境。结果表明, 矿床中有机质主要属水生生物和细菌成因, 它起源于灰岩矿源层, 其原始运移形式可能为腐殖酸; 成矿溶液可能形成于成岩早期, 来自灰岩矿源层; 矿床形成于强还原环境。这些无疑对矿床成因的了解具有重要意义。

关键词 毕家山铅锌矿 可溶有机质 成矿溶液来源 成矿环境

第一作者简介 段毅 男 40岁 副研究员 有机地球化学

1 引 言

金属矿床的有机地球化学研究, 可以解决许多与矿床成因有关的问题^[1], 这些问题主要集中在成矿物质的富集、运移和沉淀方面。但是, 当金属矿床中富含有机质、并与金属矿物和含矿岩系为共生关系时, 通过研究矿床和围岩中可溶有机质的组成、来源及成熟度特征, 还可以探索成矿溶液的成因^[2], 了解矿床形成的环境。

西成铅锌矿田是我国重要的铅锌矿田之一, 它位于甘肃西和县和成县地区。该矿田分为南、北两个铅锌成矿亚带, 毕家山铅锌矿床位于南成矿亚带内, 是西成铅锌矿田中的一个大型矿床。矿床的围岩为千枚岩和灰岩, 而灰岩则被认为是该矿床的矿源层^[2]。矿床赋存于上述两种围岩的接触带内及其附近的围岩裂隙中。容矿岩石为硅质岩, 并富含有机质。本文对该矿床和围岩中可溶有机质进行了分析研究, 结合矿床的地质地球化学特征, 探讨了与矿床成因有关的一些问题。

2 样品和实验分析

样品采自毕家山铅锌矿床开采的新鲜采矿剖面, 样品类型包括远矿围岩绢云母千枚岩、近矿围岩碳质千枚岩和灰岩及矿石 (表 1)。

^① 本文为中国科学院兰州地质研究所所长基金资助项目 (名称: 毕家山铅锌矿床有机地球化学研究—有机成矿作用及矿床成因 编号: 920209)

^② 曹庆善. 毕家山多金属矿床地质特征及其找矿意义. 西成铅锌矿田地质科研论文集, 中国有色金属工业总公司甘肃地质勘探公司编, 1984.

收稿日期: 1995-08-01

表 1 氯仿抽提物含量及其族组成

Table 1 Contents and fractions of chloroform extracts

样品号	24	4	9	15	20	6	12	16	19	17	18	10	2
样品岩性	绢云母千枚岩	碳质千枚岩				矿 石				灰 岩			
氯仿“A”(μg/g)	22.09	56.67	40.87	48.96	13.64	34.92	68.90	44.43	27.56	71.37	45.51	24.18	50.74
饱和烃(%)	31.6	44.8	29.1	29.1	17.5	43.8	50.3	52.2	44.4	44.1	56.9	45.0	42.1
芳 烃(%)	22.1	13.6	18.1	18.5	21.1	9.5	10.2	19.0	11.1	12.4	12.6	15.5	14.1
沥青质+非烃(%)	46.3	41.6	52.8	52.4	61.4	46.7	39.5	28.8	44.6	43.5	30.5	39.5	44.8

将各类样品粉碎至 80—100 目, 用 200—500g 样品在索氏抽提器上用氯仿抽提 48 小时。抽提物沉淀沥青质后, 用柱色谱分离为饱和烃、芳烃和非烃, 对饱和烃和芳烃进行了色谱-质谱 (GC-MS) 分析。色谱使用美国产的 Varian 3400 色谱仪, 采用 25 m×0.32 mm HT₅ 熔融硅毛细管柱, 从 100—300 C 程序升温, 升温速度为 3 C/min。质谱为美国产的 Finnigan Mat INCOS 50 质谱仪, 电离电压 70 eV。

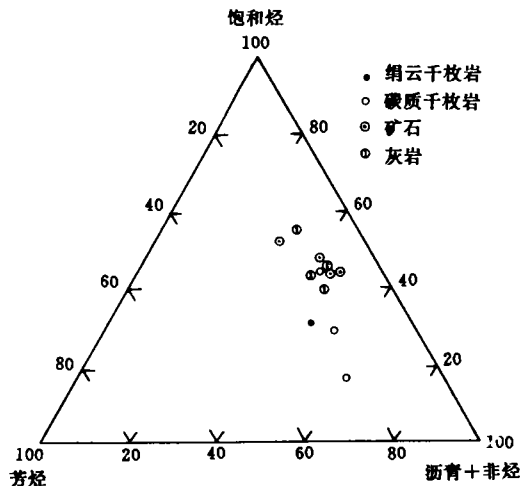


图 1 样品中氯仿抽提物族组成三角图

Fig. 1 Triangular diagram of fractions of chloroform extracts

3 结 果

3.1 可溶有机质氯仿沥青“A”含量及其族组成

由于毕家山铅锌矿床和围岩中有机质热演化程度较高, 使其氯仿抽提物含量较低 (22.09—68.90 μg/g)。但是, 不同类型样品中其平均值仍存在差异, 变化趋势为绢云母千枚岩中最低 (22.09 μg/g), 碳质千枚岩次之 (40.40 μg/g), 矿石和灰岩中较高 (分别为 43.95 μg/g 和 47.95 μg/g) (表 1)。氯仿抽提物族组成的特征是, 除 20 号样品外, 都表现为饱和烃高于芳烃, 这与有机质类型好及其演化程度高相吻合。由图 1 可见, 除 4 号样品外, 绢云母千枚岩和碳质千枚岩含有相对高的芳烃和沥青+非烃, 而矿石和灰岩样品分布在相近的范围内, 含有相对高的饱和烃。因此, 从氯仿抽提物的含量和族组成来看, 毕家山矿床中有机质性质和灰岩中的相近, 而且它们似乎略好于绢云母千枚岩和碳质千枚岩。

3.2 饱和烃中正构烷烃及类异戊二烯烷烃组成和分布

毕家山铅锌矿床和围岩中正构烷烃均呈单峰型分布, 碳数范围在 C₁₅—C₂₇ 之间; 6 号样品主峰碳为 C₂₀, 其它样品均为 C₁₈; 碳优势范围为 C₁₇—C₂₁, nC₂₀⁻/nC₂₀⁺ 均大于 1 (图 2, 表 2)。正构烷烃的这种分布特征反映了样品中有机质主要来自海洋水生生物和细菌^[3]。

样品中检出的类异戊二烯烷烃包括降姥鲨烷、姥鲨烷 (Pr) 和植烷 (Ph)。姥鲨烷和植烷的丰度均高于相邻正构烷烃的丰度, 即 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 比值大于 1, 特别是植烷为色谱图

的主峰。类异戊二烯烷烃这种分布特征与 Macqueen 等^[4]报道的海相强还原沉积环境的相类似。所研究样品中 Pr/Ph 比值均 ≤ 0.6 ，但是矿石和灰岩中较低，为 0.46—0.49，碳质千枚岩和绢云母千枚岩中较高，为 0.53—0.60，反映了两类沉积环境略有差异。

3.3 饱和烃中甾烷组成和分布

样品中检出的甾烷为 C_{21} 和 C_{22} 孕甾烷及 C_{27} — C_{29} 规则甾烷和重排甾烷，其中重排甾烷含量很低，孕甾烷含量很高（图 3）。规则甾烷的分布特征是以 C_{29} 甾烷为主（表 3）。一般认为 C_{27} 甾烷主要来自水生生物， C_{29} 甾烷主要起源于高等植物。但是，较高的 C_{29} 甾烷也来自一些浮游生物。现代生物中甾类化合物研究表明，褐藻、蓝绿藻中含有较高的 C_{29} 甾醇^[5,6]，它们都是 C_{29} 甾烷的前身物。所研究的围岩样品均为浅海相沉积产物，沉积有机质应以水生生物为主，矿石和围岩中 C_{29} 甾烷的高丰度可能主要反映了上述一些浮游生物有机质的贡献。

表 2 正构烷烃和类异戊二烯烷烃参数

Table 2 n-alkane and isoprenoid alkane parameters of the samples

样品	岩性	碳数分布范围	主峰碳	碳优势范围	OEP	$\frac{nC_{20}^-}{nC_{20}^+}$	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
24	绢云母千枚岩	C ₁₅ —C ₂₆	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₀	1.29	1.57	0.60	1.53	1.60
4	碳质千枚岩	C ₁₅ —C ₂₆	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₁	1.30	2.05	0.53	1.21	1.50
15	碳质千枚岩	C ₁₅ —C ₂₇	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₁	1.26	1.12	0.58	1.44	1.43
6	矿石	C ₁₅ —C ₂₆	C ₂₀	C ₁₇ —C ₂₀	1.09	1.18	0.46	2.00	1.61
16	矿石	C ₁₅ —C ₂₆	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₁	1.18	1.02	0.48	1.95	1.48
18	灰岩	C ₁₅ —C ₂₆	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₀	0.94	3.28	0.47	1.50	1.26
2	灰岩	C ₁₅ —C ₂₆	C ₁₈	C ₁₇ —C ₂₀	1.05	1.39	0.49	1.74	1.32

样品中甾烷 $C_{29} \frac{20S}{20S+20R}$ 和 $C_{29} \frac{\beta\beta}{\alpha\alpha+\beta\beta}$ 比值较低，分别为 0.29—0.38 和 0.38—0.44（表 4），均未达到平衡值。但是，围岩样品已轻度变质成千枚岩，其中甾烷成熟度参数这种分布与有机质的实际演化程度不相符。Peter 等^[7]进行原油精炼实验研究发现，在经受了较高温度的残渣油中，甾烷上述两个成熟度参数都比原油的还要低，并认为是较重先质中化学结合型甾烷释放出来所致。据此，所研究样品中低的甾烷异构体比值，可能是由结合在较重的可溶有机质及干酪根中的生物型甾烷，在有机质演化后期被释放出来所造成。这样，它们不能反映毕家山矿床和围岩中有机质的实际演化程度。

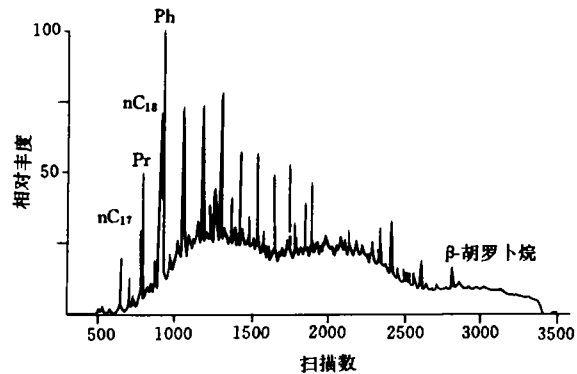


图 2 矿石中饱和烃气相气谱图

Fig. 2 GC traces of saturated fractions of the ore

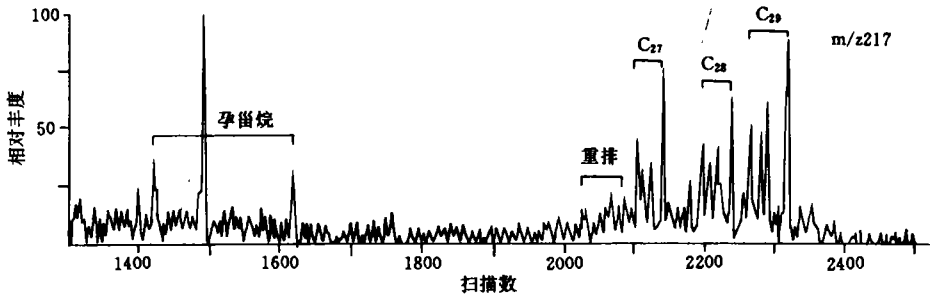


图3 矿石中甾烷质量色谱图

Fig. 3 Mass chromatogram of steranes of the ore

表3 甾烷和萜烷组成参数

Table 3 Compositional parameters of steranes and terpanes of the samples

样号	岩性	β -胡萝卜素 $\alpha/\beta C_{30}$ 甾烷	γ -蜡烷 $\alpha/\beta C_{30}$ 甾烷	甾烷分布 (%)			萜烷分布 (%)		
				C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	C ₂₇ +C ₂₉	C ₃₀	>C ₃₀
24	绢云母千枚岩	0.44	0.20	27.8	27.6	44.7	31.8	34.6	34.6
4	碳质千枚岩	0.46	0.49	—	—	—	30.7	34.5	34.8
15	碳质千枚岩	0.38	0.23	29.0	27.1	43.9	38.1	36.8	24.7
6	矿石	0.73	0.19	—	—	—	27.6	28.2	44.8
16	矿石	0.41	0.16	29.1	28.9	42.0	29.4	37.6	33.1
18	灰岩	0.63	0.24	27.8	28.6	43.6	29.2	35.9	34.9
2	灰岩	0.58	0.21	24.4	27.0	48.6	28.5	34.9	36.5

样品中孕甾烷含量很高(图3), C₂₁孕甾烷/ $\alpha\alpha\alpha$ RC₂₉甾烷在1.38—3.47之间(表4)。高含量的孕甾烷曾在高盐度沉积环境中被发现,但是也与有机质演化程度有关⁽⁸⁾。毕家山矿床和围岩中高含量孕甾烷主要是由C₂₇—C₂₉甾烷在高演化阶段侧链断裂所形成。因此,它的高含量反映了毕家山矿床和围岩中有机质演化程度很高。

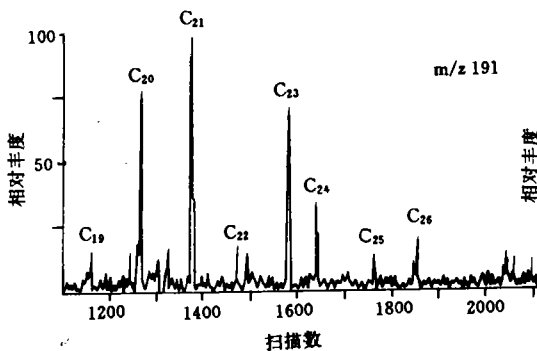


图4 矿石中三环萜烷质量色谱图

Fig. 4 Mass chromatogram of tricyclic terpanes of the ore

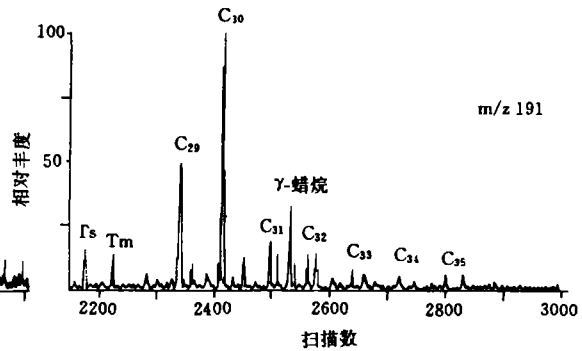


图5 矿石中萜烷质量色谱图

Fig. 5 Mass chromatogram of hopanes of the ore

3.4 饱和烃中萜烷组成和分布

样品中检出的这类化合物包括 C_{19} — C_{26} 三环萜烷、 C_{27} 和 C_{29} — C_{35} 藿烷、 γ -蜡烷及胡萝卜烷(图 4, 图 5 和图 2)。

在色谱图上, 三环萜烷是以 C_{21} 为主峰(图 4)。 $(C_{20}+C_{21})/(C_{23}+C_{24})$ 比值在 1.59—2.05 之间, 从绢云母千枚岩到灰岩该比值增高; 各样品中三环萜烷/五环萜烷比值为 0.75—1.37, 矿石中该比值略低于其它样品。这两个比值一般作为成熟度参数。随着有机质演化程度增高, 长链三环萜烷烷基侧链降解形成短链三环萜烷, 以及五环萜烷 D 环断开产生三环萜烷则是该成熟度参数的理论依据。黄第藩等^[9]研究表明, $(C_{20}+C_{21})/(C_{23}+C_{24}) > 1.2-1.3$ 可作为有机质真正成熟的标志。据此, 说明毕家山铅锌矿床和围岩中有机质具有很高的演化程度。

表 4 萜烷和藜烷成熟度参数

Table 4 Maturity parameters of steranes and terpanes of the samples

样品	岩性	三环 五环	三环 $\frac{C_{20}+C_{21}}{C_{23}+C_{24}}$	萜 烷			藜 烷			
				$\frac{C_{21} \text{ 孕萜烷}}{\alpha\alpha RC_{29}}$	$C_{29} \frac{20S}{20S+20R}$	$C_{29} \frac{\beta\beta}{\alpha\alpha+\beta\beta}$	$\frac{T_s}{T_m}$	$C_{29} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$	$C_{30} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$	$C_{31} \frac{22S}{22S+22R}$
24	绢云母千枚岩	1.02	1.61	3.47	0.32	0.40	1.23	0.84	0.85	0.60
4	碳质千枚岩	—	1.59	—	0.29	0.41	1.14	0.85	0.82	0.61
15	碳质千枚岩	1.16	1.68	1.38	0.38	0.38	1.27	0.88	0.87	0.64
6	矿石	0.81	1.78	3.34	—	—	1.11	0.83	0.86	0.65
16	矿石	0.75	1.69	1.62	0.33	0.41	1.30	0.82	0.89	0.59
18	灰岩	1.37	1.90	2.0	0.38	0.44	1.15	0.81	0.84	0.61
2	灰岩	—	2.05	—	0.33	0.44	1.1	0.84	0.84	0.64

藜烷的分布特征是: 除 15 号样品具有较高的 $C_{27}+C_{29}$ 藜烷外, 其它样品中 $C_{27}+C_{29}$ 藜烷含量均较低, 占优势的藜烷是 C_{30} 和 $>C_{30}$; 矿石和灰岩中 $C_{27}+C_{29}$ 藜烷含量略低于千枚岩(表 3)。如图 6 所示, 起源于高等植物的有机质具有较高含量的 $C_{27}+C_{29}$ 藜烷, 来自水生生物、细菌的有机质含有较高的 C_{30} 和 $>C_{30}$ 藜烷^[10]。毕家山铅锌矿床和围岩中藜烷的分布与南沙海洋现代沉积物中的相似, 说明矿床和围岩中有机质主要来自水生生物和细菌。矿石和灰岩中含较低的 $C_{27}+C_{29}$ 藜烷, 表明它们的有机质来源更接近。

矿床和围岩中藜烷异构体成熟度参数

很接近(表 4), 藜烷 $C_{31} \frac{22S}{22S+22R}$ 比值为 0.59—0.65, $C_{30} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$ 、 $C_{29} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$ 比值分别为 0.82—0.89 和 0.81—0.88, 它们均达到平衡值; T_s/T_m 为 1.1—1.30, 超过了有机质成熟下

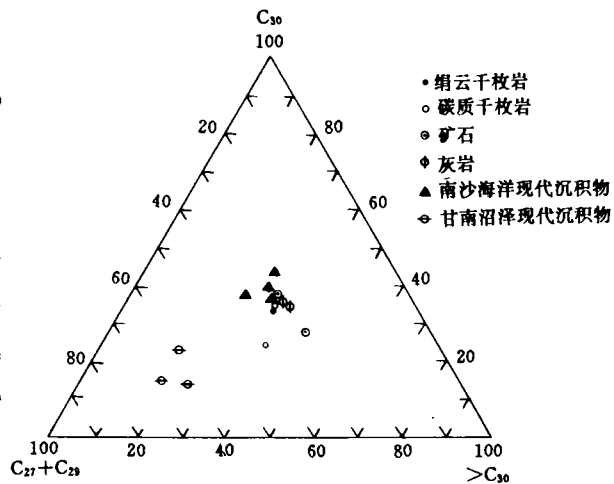


图 6 样品中藜烷分布三角图

Fig. 6 Distribution of hopanes of the samples

限^[11],这些同样说明矿床和围岩中有机质演化程度很高。

矿床和围岩中均含 γ -蜡烷和 β -胡萝卜烷, γ -蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷为0.16—0.24, β -胡萝卜烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷为0.38—0.73。它们的存在与沉积环境有关。

4 讨 论

4.1 矿床中有机质的性质、来源和成矿溶液可能的成因

毕家山铅锌矿床中氯仿抽提物族组成以饱和烃占优势;正构烷烃呈单峰型分布,主峰碳在低碳部位 C_{20} 以下;含有丰富的类异戊二烯烷烃;藿烷以 C_{30} 和 $>C_{30}$ 占优势。这些说明矿床中有机质主要是由水生生物和细菌有机质所组成。与绢云母千枚岩和碳质千枚岩比较,矿石和灰岩都具高含量的饱和烃、较低的Pr/Ph比值和较高的三环萜烷($C_{20}+C_{21}$)/($C_{23}+C_{24}$)比值及相对较低含量的 $C_{27}+C_{29}$ 藿烷。这些表明矿床与灰岩中有机质具有较好的可比性,矿床中有机质来自灰岩矿源层。

如果能够弄清矿床中有机质以什么形式在灰岩矿源层那个演化阶段进入矿液,则可以追溯成矿溶液的成因。首先,从矿床中有机质与容矿岩石的共生关系来看,有机质是与矿化同时沉淀的,这表现为矿床中有机质呈粉尘状赋存在容矿硅质岩中,或呈薄膜状分布在容矿硅质岩的石英颗粒之间^[12]。其次,从有机质数量来看,矿床中有机质含量很高(平均 $C_{org}=2.03\%$),并高于各类围岩中有机质的平均含量(平均 $C_{org}=0.16\%—1.56\%$)。如果矿床是热水喷溢同生沉积成因,则含矿热液较高的温度(据包裹体均一测温大于 140C)会影响周围海洋生物的生存和繁殖,从而使成矿热液中贫有机质供给;即使水体中原先就富含有机质,其进入成矿热液中也会在如此高温下急剧分解而绝大部分被散失掉,从而难以造成矿床中有机质的高含量及其比围岩高的情况。因此,矿床中高含量的不溶有机质似乎是在较低的温度下,与成矿溶液一起从灰岩矿源层中运移到现在的矿床位置。有机质在这种条件下运移的形式最可能为腐殖酸(它是干酪根的前身物)。腐殖酸在成岩早期沉积物中含量很高,根据我们对甘南沼泽现代沉积物中腐殖酸研究表明,它占有有机碳的 $32\%—45\%$ 。如果灰岩矿源层中腐殖酸在成岩早期进入矿液中,就可以形成现在矿床中如此高的有机质丰度。腐殖酸的溶解需要强碱性介质。根据容矿岩石为硅质岩,推测矿液中含有很高的 SiO_2 。 SiO_2 的溶解及其在矿液中稳定存在说明溶液具有强碱性,如果不具强碱性, SiO_2 就会被沉淀。因此,灰岩矿源层中腐殖酸在矿液中大量的溶解是可能的。矿床中有机质以腐殖酸形式并在灰岩成岩早期进入矿液,可能说明成矿溶液就是矿源层灰岩的成岩溶液。其中的 SiO_2 可能由灰岩中硅质(如硅质生物及机械和化学沉积的硅质)的溶解所提供,在灰岩早期成岩过程中,碳酸盐沉淀使 CO_2 消耗尽以及富氮有机质(水生生物)产生大量的氨,可以形成这种溶解所需的强碱性介质。这种成矿溶液的成矿物质来源见另文报道。

4.2 矿床中 γ -蜡烷分布及意义

γ -蜡烷的前身物为富含四膜虫醇的原生动物,这种动物在高盐度沉积环境中较发育。因此, γ -蜡烷是反映沉积介质盐度的一种生物标志化合物,它的高含量代表了高盐度沉积环境^[13],例如,在江汉盆地盐湖相生油岩中, γ -蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷比值高达 1.3 ^[14]。在毕家山铅锌矿床中, γ -蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷比值为 $0.16—0.19$,与围岩中该比值相似,它们均反映了正常海的盐度^[15]。此与成矿溶液高盐度(据包裹体测定为 $17.2\text{wt}\%NaCl$)相比较,说明矿床中有

机质并非同生沉积,它可能来自灰岩矿源层,从而也反映了矿床不是同生成因,而是后生成因。这与上述讨论的相吻合。

4.3 矿床和围岩中生物标志化合物成熟度参数特征及意义

毕家山铅锌矿床中藿烷 $C_{31} \frac{22S}{22S+22R}$ 比值平均为 0.62, $C_{29} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$ 和 $C_{30} \frac{\alpha\beta}{\alpha\beta+\beta\alpha}$ 比值平均分别为 0.83 和 0.88。这些比值和各类围岩中的十分接近,均达到了平衡值。矿床中甾烷 $C_{29} \frac{20S}{20S+20R}$ 、 $C_{29} \frac{\beta\beta}{\alpha\alpha+\beta\beta}$ 比值分别为 0.33 和 0.41,也与各类围岩中的相似,但均未达到平衡值(其原因见前文所述)。一般来说,藿烷和甾烷这些成熟度参数,在有机质低演化阶段($R_o=0.3\%-0.7\%$)较灵敏,高演化阶段已失灵^[16]。因此,上述这些成熟度参数不能真实反映该矿床及其围岩中有机质的现在实际演化程度。但是,根据矿床和围岩中三环萜烷($C_{20}+C_{21}$)/($C_{23}+C_{24}$)比值很高以及存在高含量的孕甾烷,并结合围岩现在所处的低变质阶段,可以推测矿床和围岩中有机质的演化至少达到了过成熟阶段后期。这样,有机质在矿化时的作用最晚是在过成熟阶段前期。另一方面,矿床和围岩中生物标志化合物成熟度参数分布很相似,这些参数在矿床和围岩中的同步变化,说明矿床和围岩中有机质均经历了相同程度的改造,这种改造的热能只能来自深埋作用所引起的古地温升高,从而反映了矿液及其中有机质形成于围岩(灰岩矿源层)的成岩早期。

4.4 矿床形成的环境

一般认为,姥鲛烷和植烷来自叶绿素的植醇侧链,它们的相对丰度取决于沉积环境的氧化还原条件。在弱氧-弱还原环境下,植醇侧链经过氧化途径主要生成姥鲛烷,在还原环境下,经过还原途径主要生成植烷。因此,Pr/Ph 比值通常作为氧化还原条件的一种指标。毕家山铅锌矿床和围岩都是以植烷占优势,Pr/Ph 比值均 ≤ 0.6 。从不同类型样品来看,缙云母千枚岩和碳质千枚岩中 Pr/Ph 比值相似,它们平均为 0.57;矿石和灰岩中该比值很接近,平均为 0.48,低于前者。

反映介质氧化还原条件的另一类生物标志化合物是胡萝卜烷。胡萝卜烷的前身物为胡萝卜素,后者起源于广泛存在于动植物中的有机色素。胡萝卜素在常温下极易被氧化,只有在强还原环境下易保存^[17,18]。毕家山铅锌矿床和围岩中均存在 β -胡萝卜烷,它们的 β -胡萝卜烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷比值为 0.41—0.73。

上述说明,灰岩矿源层中的有机质进入矿液中,矿液在运移至矿化阶段,其环境一直保持了强还原性,从而使有机质中的胡萝卜素保存较完整,直醇侧链主要还原形成植烷。

本文在采样过程中得到毕家山铅锌矿王泉工程师的帮助;样品抽提和分离由中国科学院兰州地质所丁万仁同志帮助完成;罗斌杰研究员对本文进行了许多帮助和指导,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Disnar J R, Sureau J F. Organic matter in ore genesis: progress and perspectives. *Org. Gechem.*, 1990, 16(1-3): 577-599.
- [2] 胡明安. 层状矿床有机地球化学初步研究. *地球科学*, 1988, 13(2): 195-202.
- [3] Han J, Calvin M. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria, and microbiological activity in sediment. *Natl. Acad. Sci. Proc.*, 1969, 64: 436-443.
- [4] Macqueen R W, Powell T G. Organic geochemistry of the Pine Point lead-zinc field and region, northwest Territories, Canada. *Econ. Geol.*, 1983, 78(1): 1-25.

- [5] Orcutt D M, Parker B C, et al. Lipids in blue-green algal mats(modern stromatolites) from Antarctic oasis lakes. *J. Phycol.*, 1986, 22:532—530.
- [6] 蒂索,威尔特. 石油形成和分布. 徐水元等译,北京:石油工业出版社,1989,78—85.
- [7] Peter K E, Scheuerman G L, et al. Effects of refinery processes on biological markers. *Energy vs Fuel*, 1992, 6(5): 560—577.
- [8] 邵宏舜,妥进才等. 原油和生油岩中甾萜类化合物的组成和分布. 见:黄杏珍等编. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向. 兰州:甘肃科学技术出版社,1993,290—292.
- [9] 黄第藩,李晋超等. 陆相有机质演化和成烃机理. 北京:石油工业出版社,1984,133—135.
- [10] 段毅,罗斌杰等. 现代沼泽沉积物中五环三萜类的组成特征. *沉积学报*,1993,11(3):82—87.
- [11] 黄第藩. 我国石油地球化学研究和应用方面几个问题的探讨. *石油与天然气地质*,1984,5(4):305—314.
- [12] 武安斌,宋春晖等. 甘肃省西成矿田中泥盆统沉积相古地理与控矿作用. 兰州大学出版社,1992,105—106.
- [13] 王锐良,傅家谟等. 生物标志化合物在盐湖沉积物中的定量组成和分布. 中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放研究实验室研究年报,北京:科学出版社,1987,109—120.
- [14] 杨志琼. 江汉盐湖盆地原油及生油岩中生物标记化合物的特征及地质意义. *石油与天然气地质*,1983,4(3): 269—282.
- [15] 范善发,周中毅等. 应用生物标志化合物评价塔里木盆地地下古生界沉积物的古环境. *沉积学报*,1991(增刊):44—51.
- [16] Mackenzie A S. Applications of biological markers in petroleum geochemistry. In: Brooks J Welte D. eds. *Advances in Petroleum Geochemistry*. 1984, London: Academic Pr., 168—171.
- [17] 盛国英,周中毅等. 克拉玛依原油中的生物标记物及其地球化学意义. *有机地球化学和陆相生油*,北京:石油工业出版社,1986,83—93.
- [18] 蒋助生. 克拉玛依原油中的类胡萝卜烷及其地球化学特征. *石油与天然气地质*,1983,4(2):151—159.

Organic Geochemistry of the Bijiaoshan Lead-Zinc Deposits(I): Features of the Soluble Organic Matter and Discussion on Several Genetic Problems of Ore Deposits

Duan Yi¹ Xu Yanqian² Ma Lanhua³ and Shen Xiuyun³

¹ (Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

² (Research Institute of Petroleum and Development of Changqing oilfield, Gansu Qingyang 745101)

³ (Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB China, Lanzhou 730000)

Abstract

This paper has studied the nature, source and maturity of organic matter in the Bijiaoshan lead-zinc deposits by analysis of extractable organic matter in the ores and adjacent rocks. The probably primary migration form of organic matter, probable genesis of ore-forming fluids and ore-forming environment are discussed. The fractions of chloroform extracts and distributional features of biomarkers reflect that organic matter is mainly composed of aquatic organism and bacteria and comes from the ore source bed of carbonate rocks. Based on analysis of the data of geology and geochemistry of the ore deposits, it is believed that the primary migration form of organic matter in the ore deposits probably is humic acid, and that the ore fluids probably are derived from diagenetic solutions in carbonate rocks. Low ratios of Pr/Ph and existence of β -carotane indicate that the ore deposits are formed under a strongly reducing environment. Those results are important in understanding genesis of the ore deposits.

Key words: Bijiaoshan lead-zinc deposit soluble organic matter ore-forming fluid genesis ore-forming environment