

陕西银铜子银铜铅多金属矿床 生物-有机质-热水成矿作用研究*

Approach to Hydrothermal-Organic Biomineralization of Yindongzi Silver-Copper-Lead Polymetallic Deposit, Shaanxi Province

熊永柱 林 丽 朱利东 庞艳春 付修根

(成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

Xiong Yongzhu, Lin Li, Zhu Lidong, Pang Yanchun, Fu Xiugen

(College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

摘 要 生物有机质成矿作用研究是当前地学界的前沿课题。陕西银铜子银铜铅多金属矿床的地质地球化学特征表明该矿床可能是一个跟生物有机质作用有关的矿床。本文通过对该矿床的有机地球化学特征的进一步研究,并结合热水沉积成矿作用的研究,初步总结了热水环境下矿床形成过程中的生物有机质对成矿金属元素的活化富集等生物有机成矿作用机理。研究认为,该矿床可能是一个与生物有机质作用有关的热水沉积型层控多金属矿床,生物-有机质-热水流体对矿床的形成也许起了重要的作用。

关键词 生物有机质成矿作用 热水沉积成矿 生物标志物 银铜多金属矿床 陕西银铜子

陕西柞水银铜子银铜铅多金属矿床自发现以来,已有很多人对其沉积环境和矿床成因进行过较深入的研究。一般认为,该矿床系同生海底喷气沉积型矿床,即 Sedex 矿床(祁思敬等,1993),为一典型的层控沉积矿床(涂光炽,1984)。然而,野外观察和室内分析表明:①矿体严格受中泥盆统控制,成层性好,与围岩产状一致;②矿石和围岩中发现有生物化石和生物活动的遗迹构造,如菌藻类生物遗迹化石;③矿石及围岩中均含有不等量的有机碳和沥青质。这些现象说明矿床是沉积形成的,并可能受到生物及有机质影响,生物有机成矿作用标志比较明显。但是这方面的研究却显得薄弱。因此,本文从生物有机成矿作用的观点出发,结合热水沉积成矿研究,试图讨论热水环境下矿床形成过程中的生物-有机质-热水流体对成矿金属元素的活化富集等成矿作用的影响。

1 矿床地质地球化学概况

银铜子银铜铅多金属矿床是以银为主,共生有锌铅铜等,其中银的储量达特大型。矿区位于陕西省柞水县东部、山阳—柞水泥盆纪成矿海盆西段的三级热水成矿盆地中的四级成矿洼地(杨耀民,2000)。大地构造位置为秦岭海西—印支褶皱带东北部边缘、扬子地台与华北地台之间的活动地带。

矿体产于中泥盆统青石垭组上岩段(D₂q)巨厚的浅海相类复理石泥沙-碳酸盐沉积建造中,均呈层状或似层状平行排列,与围岩产状一致。矿体下盘围岩以深灰—灰黑色含碳质千枚岩、含碳钙质千枚岩为主;矿体上盘围岩主要为白云质绢云结晶灰岩夹绿泥绢云千枚岩,矿体恰好位于细碎屑岩向碳酸盐岩的过渡部位。主矿体为 13 号银铜铅矿体,矿体长 1900 m,厚 0.75~23.35 m。金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁

* 本研究受国家自然科学基金项目(49973030、40172011)、地矿部青年地质学家基金项目(Qn979820)和四川省青年科技基金项目联合资助

第一作者简介 熊永柱,男,1973 年生,硕士研究生,主要从事热水和生物有机质成矿作用研究。

矿、磁铁矿、黄铜矿、毒砂、辉银矿等；脉石矿物有钠长石、重晶石、铁锰方解石、铁白云石、绿泥石等。主要金属矿物为它形结构、斑状结构、溶蚀交代结构等。矿石多呈块状、浸染状、纹层状、角砾状和条纹条带等热水沉积构造（祁思敬等，1993）。

包裹体测温表明，成矿均一温度为 305~331.7℃ 左右，属于中高温范围（涂光炽，1984）。铅同位素组成比较均一，主要为正常铅，成矿元素主要来自上地壳（罗学常，1997）。硫同位素研究表明矿体和围岩中的硫主要来自封闭盆地中海水硫酸盐的还原（杨耀民，2000）。

上述矿床地质地球化学特征表明该矿床是一个典型的热液喷流沉积多金属层控矿床。

2 矿床生物有机地球化学特征

2.1 有机质特征和氯仿沥青“A”族组成

矿区青石垭组含矿岩石中有机质形态特征表明含矿建造中的有机质是原生沉积的，矿石中有机碳含量（0.12%）小于围岩中有机碳含量（0.31%~0.38%），可能是在成矿时期沉积环境中有机质含量较高，随着成矿作用的发生，有机质被降解释放，说明同生沉积阶段有机质的存在对成矿起着控制作用（胡明安，1990）。

氯仿沥青“A”分析结果（表 1）表明：可溶有机抽提物含量为 $19.66 \times 10^{-6} \sim 46.50 \times 10^{-6}$ ，平均为 36.89×10^{-6} ，饱和烃与芳烃比值平均为 2.33，具有高饱和烃、低芳烃的特征，表明有机质类型属于腐泥型，主要来源于菌藻类等低等水生生物（林丽，1998）。总烃与非烃+沥青质的比值平均为 1.69，有机转化率（ A/C_{org} ）平均为 1.89%，说明有机质的成熟度较高，经历了较高温的热演化。这可能与热水沉积作用有关，较高温的热卤水的蚀变作用，促进了沥青有机质的降解，形成分子量较低的烃类（Disnar *et al.*, 1990; Simoneit *et al.*, 2000）。

表 1 有机质含量及氯仿沥青“A”的族组成

样品编号	岩性	有机碳 $C_{org}/\%$	氯仿沥青 “A”/ 10^{-6}	沥青“A”的族组成			饱和烃 芳香烃	总烃 (非+沥)	有机转化率 $A/C_{org}/\%$ (%)
				饱和烃 /%	芳烃/%	沥青质+非烃 /%			
By170-14 ^①	炭质板岩	0.31	19.66	23.96	30.21	45.83	0.79	1.18	0.63
M7 [#]	铅矿石	0.12	46.50	40.00	16.00	44.00	2.50	1.27	3.88
M8 [#]	碳质千枚岩	0.38	44.50	56.94	15.28	27.78	3.70	2.60	1.17
平均		0.27	36.89	22.63	14.82	26.22	2.33	1.69	1.89

①本文，广州地球化学研究所。

2.2 烷烃生物标志物组成及参数意义

根据生物标志物的特殊化学结构和组成参数，可以追踪与其有成因联系的生物种属（Macqueen *et al.*, 1983），并恢复其沉积古环境（Gize *et al.*, 1987; 林丽等，1998）。因此，生物标志物研究对了解矿床的生物成矿作用具有重要意义（Lin Li *et al.*, 1998）。

饱和烃GC/MS分析表明（图 1A），其碳数分布较宽，介于 $nC_{14} \sim nC_{36}$ 之间，主峰碳数为 nC_{17} 、 nC_{18} 或 nC_{25} ，饱和烃气相色谱峰型以前高单峰为主，不具明显的奇偶优势（样品平均OEP值为 0.96，CPI值为 1.03），这些现象说明矿床中的有机质为腐泥型，处于高成熟阶段，由海相藻类和细菌类生物演化而成，与氯仿沥青“A”所反映的生物来源一致。姥鲛烷（Pr）/植烷（Ph）比值平均为 0.97，表明矿床沉积环境为微弱还原性深水海相沉积。检测出的中间支链烷烃主要有二甲基烷烃等（ $iC_{15} \sim iC_{28}$ ），该类来源于蓝菌的化合物可以指示海相或温泉环境（Shiea，1990）。

从 m/z 191 质量色谱图（图 1B）上检测出一类以藿烷结构为骨架的五环三萜烷：Ts（ C_{27} ）、Tm（ C_{27} ）、17 α (H),21 β (H)-30-降藿烷（ $\alpha\beta C_{29}$ ）、17 β (H),21 α (H)-降藿烷（ $\beta\alpha C_{29}$ ）、17 α (H),21 β (H)-藿烷（ $\alpha\beta C_{30}$ ）、22S-和 22R-17 α (H),21 β (H)-升藿烷（22S $\alpha\beta C_{31}$ 、22R $\alpha\beta C_{31}$ ）、伽玛蜡烷等生物标志物，以藿烷占优势。成熟度参数 $Ts/Tm=1.1$ ，藿烷 $C_{31}22S/(22S+22R)=0.59$ ，均达到平衡终点值，表征有机质已处于高成

熟阶段；伽玛蜡烷是高盐度沉积环境的典型生物标志物。从 m/z 217 质量色谱图（图 1C）上检测到较丰富的胆甾烷（ C_{27} ）、麦角甾烷（ C_{28} ）和豆甾烷（ C_{29} ），以 C_{27} 、 C_{29} 含量占优势。以上生物标志物特征反映了其生物母源为海生低等菌藻类生物（谢树成，1997；林丽，1998）。

综上所述，矿床有机地球化学特征表明矿床形成于弱还原高盐较深海环境，与矿床同沉积形成的有机质的生物母源为菌藻类低等水生生物。

3 生物-有机质-热水流体成矿作用

生物有机质也可能对金属成矿元素的活化富集起到很大促进作用（Disnar et al, 1990; Mauk et al, 1992;

叶连俊等，1998）。现代海底热水沉积成矿（Simoneit et al, 2000）和大陆地热系统成矿调查发现成矿热水流体中含有大量的烃类及其它形式的碳氢化合物（油气、沥青质等），而且还发现有丰富的微生物活动于热水喷口周围。矿床同位素研究表明成矿金属元素 Pb、Zn、Ag、As 主要来自上地壳，硫来自泥盆纪海水（热卤水）。据此可推测热水沉积成因的银铜子银铜铅多金属矿床成矿过程中由上地壳喷流出的有机热水成矿流体中可能也含有大量的烃类物质，它们对矿床的形成发挥了重要的作用。

近年来大量的研究（Mauk et al, 1992; 林丽等，1996; 谢树成等，1997; 李任伟，1998; 朱弟成，2000）表明，地层中的生物-有机质-有机流体系统对矿床的形成可以起到很重要的作用，成矿元素 Pb、Zn 含量与生物标志化合物之间具有某种相关关系。藻类和双壳富集金属实验（林丽等，未发表）研究揭示，不同条件下的绿藻对 Ag^+ 的富集系数是双壳的 4.28~7.25 倍，这证明藻类生物对矿床的形成确实能够发挥重要作用。生物有机质成矿作用的实验（刘志礼等，1999）揭示藻类和细菌及其有机质对成矿元素聚集和运移机理主要为：①藻菌体表面的吸附作用；②细胞的吸收作用；③藻类生命活动改变环境介质条件；④藻菌有机质对金属元素的络合作用等。

综上所述，银铜子银铜铅多金属矿床的成矿模式可以归纳为：上地壳（或地幔）富含金属元素的热流体，沿有利的构造部位（同生断裂等）喷溢，由于烃类物质和有机质的作用而吸附、络合围岩中金属元素，在喷出海底与海水混合过程中，生物有机质对海水硫酸盐的还原作用生成沉淀剂 H_2S 与金属元素结合形成硫化物沉淀，从而构成一个生物-有机质

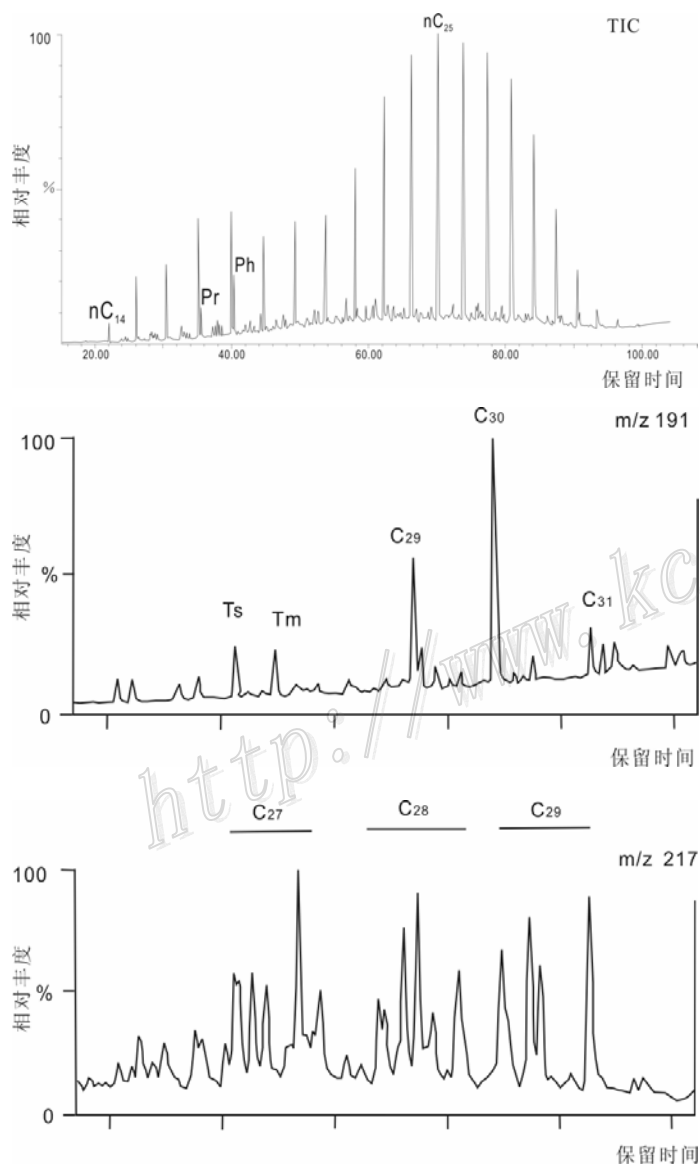


图 1 银铜子银铜铅多金属矿床样品 By-170-14 饱和烃总离子流图 TIC 和 m/z 191、217 质量色谱图

-热水流体三位一体的成矿系统,并在地球化学域转换地带(枢纽带,“成矿的边界效应带”)沉积成岩成矿(叶连俊等,1998)。

4 结语

将热水沉积成矿作用与生物有机成矿作用结合起来研究,对于深入揭示矿床的形成机理有重要意义。本文结合热水沉积成矿作用,通过对该矿床的有机地球化学特征的进一步研究,总结了热水环境下矿床形成过程中的生物有机质对成矿金属元素的活化富集等有机成矿作用机理。研究认为,银铜子银铜铅多金属矿床可能是一个生物有机质作用成因的热水沉积型层控多金属矿床,生物-有机质-成矿热水流体对矿床的形成起了重要的作用。当然,矿床更详细全面的流体包裹体和生物有机地球化学特征研究还有待于加强和深化。

致 谢: 特别感谢朱弟成博士对本文的悉心指导和有益探讨。

参 考 文 献

- 胡明安. 1990. 陕西柞水银铜子银铜多金属矿床有机地球化学特征 [J]. 地球科学, 15 (1): 117~124.
- 李任伟. 1998. 生物与有机质成矿作用的生物标志物 and 同位素地质标志 [A]. 见: 叶连俊等. 生物有机质成矿作用和成矿背景 [C]. 北京: 海洋出版社. 43~74.
- 林 丽, 朱利东, 朱弟成. 1998. 西秦岭拉尔玛金矿热水硅质岩中的分子古生物研究 [J]. 地球科学, 24 (4): 503~506.
- 刘志礼, 刘雪娟, 李富朋. 1999. 藻类及其有机质的成矿作用试验 [J]. 沉积学报, 17 (1): 9~18.
- 罗学常, 胡明安, 王思源, 等. 1997. 陕西银铜子海底喷气沉积型银铜多金属矿床的主要成矿特征 [J]. 地球科学, 22 (2): 185~189.
- 祁思敬, 李 英, 等. 1993. 秦岭泥盆系铅锌成矿带 [M]. 北京: 地质出版社, 1~240.
- 涂光炽, 等. 1984. 中国层控矿床地球化学第一卷 [M]. 北京: 科学出版社. 55~66.
- 谢树成, 殷鸿福. 1997. 生物-有机质-流体成矿系统——以南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床为例 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~131.
- 杨耀民, 方维萱. 2000. 陕西银铜子—大西沟超大型矿床成矿物质来源、成矿堆积环境及成矿作用多阶段性 [J]. 西北地质科学, 21 (1): 53~61.
- 叶连俊, 等. 1998. 生物有机质成矿作用和成矿背景 [M]. 北京: 海洋出版社. 1~462.
- 朱弟成. 2000. 西秦岭泥盆系铅锌矿床的有机成矿作用 [D] [硕士论文]. 导师: 林丽. 成都: 成都理工大学档案馆, 1~67.
- Disnar J R and Sureau F. 1990. Organic matter in ore genesis: progress and perspectives[J]. Organic Geochemistry, 16 (1-3): 577~599.
- Gize A P and Barnes H L. 1987. The Organic Geochemistry of Two Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Deposit[J]. Economic Geology, 82: 457~470.
- Lin L and Zhu L D. 1998. Biomineralization in the La'erma gold deposit of the western Qinling Mountains[J]. ACTA GEOLOGICA SINICA, 27 (1) 65~76.
- Macqueen R W and Powell T G. 1983. Organic Geochemistry of the Pine Point Lead-Zinc ore Field and Region, Northwest territories, Canada[J]. Economic Geology, 78 (1): 1~26.
- Mauk L J and Hieshima G B. 1992. Organic matter and copper mineralization at White Pine, U.S.A.[J]. Chemical Geology, 99: 189~211.
- Shiea J, Brassell S C and Ward D M. 1990. Mid-chain branched mono- and dimethyl alkanes in hot spring cyanobacterial mats: A direct biogenic source for branched alkanes in ancient sediments? [J]. Organic Geochemistry, 15 (3): 223~231.
- Simoneit B R T, Aboul-Kassim T A T and Tiercelin J J. 1999. Hydrothermal petroleum from lacustrine sedimentary organic matter in the East African Rift. Applied Geochemistry, (15): 355~368.