

西成铅锌矿床的生物成矿模拟实验研究*

Simulation Experiment Research on Biomineralization of Xicheng Lead and Zinc Deposit, Qinling

林 丽^{1,2} 朱利东² 庞艳春² 熊永柱² 付修根²

(1 成都理工大学博物馆; 2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

Lin Li^{1,2}, Zhu Lidong², Pang Yanchun², Xiong Yongzhu², Fu Xiugen²

(1 Museum of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 College of Earth Sciences of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

摘 要 该文结合矿区基本地质背景和有机地球化学特征分析, 从生物有机质成矿的角度出发, 进行生物成矿实验模拟及其机理分析。研究认为, 西成铅锌矿床成矿过程中, 除了赋矿层位中的有机质之外, 海相无脊椎动物及低等水生生物也参与了生物成矿作用。

关键词 模拟实验 生物成矿作用 有机地球化学 泥盆系 西成铅锌矿

西秦岭是我国重要的多金属成矿带, 矿产资源极为丰富, 如寒武系中的拉尔玛金矿、志留系中的铀矿、泥盆系中的铅锌矿和三叠系中的金矿等, 这些矿床无一例外地都含有丰富的有机质和大量的生物。关于这些矿床的成因, 前人已经做了许多研究工作, 并提出了一些相应的矿床学成因观点(林兵等, 1992, 1993;)。70 年代后期以来, 则认为该区矿床属沉积-改造-变质成因; 80 年代初至中期, 不少研究者提出该区矿床为喷气-沉积或热水沉积矿床; 80 年代末至今, 则认为该区铅锌矿床属于热水沉积-热水沉积改造矿床, 矿床附近印支期的岩体活动只对矿床的形成提供热源而并未提供成矿物质, 并且还指出, 热水改造作用在毕家山型铅锌矿床的形成过程中起了主导作用(祁思敬等, 1989)。90 年代初祁思敬等(1993a,b)综合矿床特征和分析成矿控制因素, 以及本区中泥盆世沉积地带构造活动的特点及地热异常背景显示, 提出本区铅锌矿床是在原始沉积形成时就有其重要特点的海底喷气沉积矿床或热液沉积矿床。野外研究发现, 在西秦岭泥盆系西成铅锌矿床的富矿层位中含有丰富的海相无脊椎动物化石和大量的有机质。针对这一现象, 本文从地球化学和实验地球化学的角度来探讨矿床形成与生物之间的关系。

1 矿区地质背景

西成铅锌矿区, 产出位置靠近区域性断裂带(岷县至镇安断裂带), 与热水沉积岩紧密相关(图 1)。中泥盆统是主要的赋矿地层, 围绕吴家山背斜核部出露, 包括安家岳组和西汉水组(武安斌等, 1993)。现已发现大型矿床四处, 即厂坝、邓家山、毕家山、李家沟, 中型矿床多处。

西成台地主要发育中泥盆世碳酸盐台地相, 岩性为结晶灰岩, 生物灰岩, 砂岩和千枚岩, 厚度达 810~2100 m, 其中灰岩占 50%~70%, 产珊瑚、腕足和海百合茎等化石, 其边缘常见生物礁。而在台地北部地区还发育浅海陆棚相粉砂泥岩相, 该沉积相在秦岭泥盆系中占优势, 其岩石性质为泥质岩粉砂岩夹泥灰岩和灰岩, 薄层状, 层内含腕足、珊瑚和层孔虫等化石。

* 本研究得到国家自然科学基金项目(40172011、49973030)、地矿部青年地质学家基金(Qn979820)和四川省青年科技基金项目联合资助
第一作者简介 林丽, 女, 1965 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事生物成矿作用研究。

2 有机质、有机分子及有机分子比值与金属元素的关系

在西秦岭泥盆系西成铅锌矿床中,含矿岩系含有较高的有机质,矿石中富含生物化石。根据这些野外现象,本文对西成矿区进行生物是否参与了成矿作用的研究。

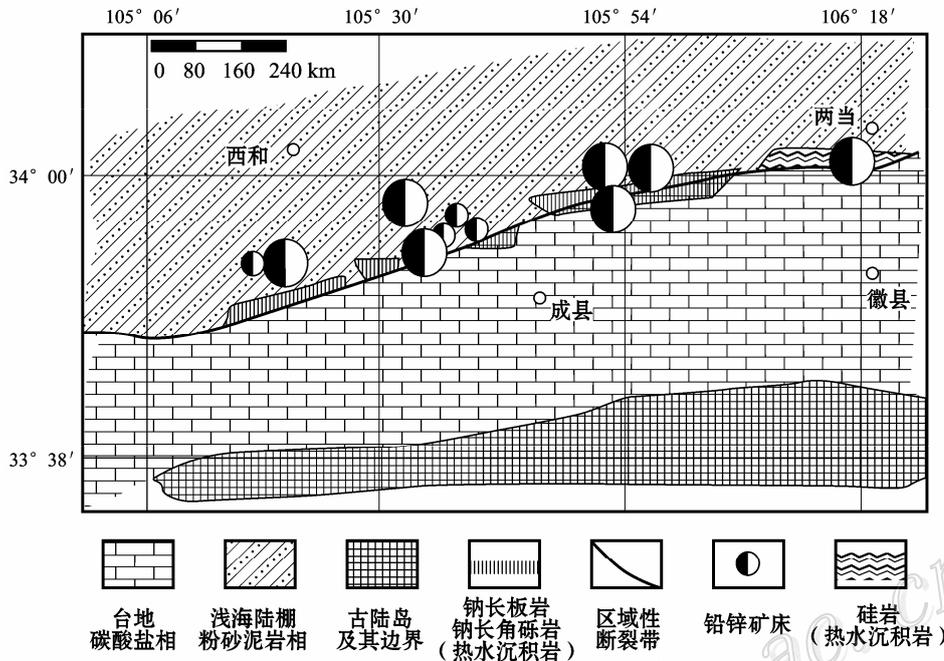


图1 秦岭泥盆系西成铅锌矿区岩相古地理略图

众所周知,有机质与成矿元素发生作用,必然会在有机分子的分布特征上有所反映。因此,本文首先去探讨有机分子与成矿元素之间的内在关系,为有机质是否参与铅锌成矿提供有机分子上的证据。

有机质与金属元素相关关系分析表明,Pb、Zn、Ag与非烃、有机硫、有机硫/(有机炭 $\times 1.22$)比值均呈正相关,而与芳烃、氯芳沥青“A”呈显著的负相关关系。

有机分子丰度与Pb、Zn、Ag元素的关系表明:Zn与正构烷烃丰度有较强的正相关性,相关系数为0.8552,Pb与正构烷烃的相关系数很低,只有0.2011,Ag居中,为0.4827。Pb、Zn、Ag与胡萝卜烷丰度也具有一定的正相关性,相关系数分别为0.4205、0.7308、0.8823;Pb、Zn、Ag与萜烷、甾烷丰度具有很强的正相关性,相关系数分别为0.99、0.8907、0.9941和0.9885、0.9106、0.9912。上述相关性分析表明,在西成矿田铅锌矿床中,有机分子丰度与Pb、Zn、Ag元素含量均具有一定程度的正相关关系。

有机分子比值与Pb、Zn、Ag元素的关系表明:Pb、Zn、Ag与三环萜烷/四环萜烷比值的相关系数分别为-0.1612、-0.7815、-0.5824,与萜烷/甾烷比值的相关系数分别为-0.8080、-0.9626、-0.8495,与 $\Sigma C_{22}^-/\Sigma C_{22}^+$ 比值的相关系数分别为-0.0712、-0.7711、-0.5175,与 $C_{20}+C_{21}/C_{23}+C_{24}$ 比值的相关系数分别为-0.0662、-0.7527、-0.6299。上述相关性分析表明,在西成铅锌矿床中,Pb、Zn、Ag等成矿元素与有机分子比值均表现出一种负相关性关系,并以Zn与有机分子比值具明显的负相关性和Pb与有机分子有微弱的负相关性为特征。

从上面的分析我们可以看到,在西成铅锌矿床中,有机分子与Pb、Zn、Ag元素均表现出这样一种趋势:有机分子丰度与Pb、Zn、Ag元素含量正相关,而有机分子比值则与Pb、Zn、Ag元素含量负相关。无论是正相关还是负相关,都表现出金属元素与有机质和生物有关(林丽等,1993,1994,1998,1999)。

3 生物富集 Pb、Zn、Ag 成矿模拟实验

西成地区铅锌矿床的赋矿地层岩石中含有许多海相无脊椎动物化石和藻类化石，那么这些生物是否参与了成矿？我们选择绿藻和双壳动物作为实验样品，进行了模拟实验。

我们选用淡水绿藻和双壳各 4 份，在滤纸上过滤后用天平称其鲜重，分别放入相应的盛有金属离子 Pb、Zn、Ag、Cu 的玻璃容器中（溶液中的金属离子浓度如表 1）。此实验是在常温、常压下进行的，实验室的通风条件良好。

实验过程中，配有银离子的培养液中的双壳紧闭前端，对溶液有一种强烈抵抗反应现象，其他溶液中的样品都正常打开双壳。

各种生物样品在金属溶液中浸泡了 45 小时后，测量溶液中金属离子的浓度变化，根据实验前后溶液中金属离子的浓度变化计算出生物体吸附金属离子的富集系数（如表 1 和图 2）。

表 1 金属离子在不同培养液中的富集系数

样品名称	培养液编号	金属离子	金属质量/mg	蒸馏水体积/ml	样品鲜重/g	各金属离子浓度/ 10^6		富集的金属离子质量/mg	富集系数
						实验前	实验 45 小时后		
双壳	I-1	Pb ²⁺	15	4800	328.92	3.125	1.000	10.200	31.011
	II-1	Zn ²⁺	15	4800	343.90	3.125	0.667	11.798	34.308
	III-1	Cu ²⁺	15	4800	330.40	3.125	0.527	12.240	37.046
	IV-1	Ag ⁺	2.5	800	238.90	3.125	0.317	2.246	9.403
绿藻	I-2	Pb ²⁺	2.5	800	61.42	3.125	0.640	1.988	32.367
	II-2	Zn ²⁺	2.5	800	53.40	3.125	—	2.500	46.816
	III-2	Cu ²⁺	2.5	800	60.92	3.125	0.062	2.450	40.217
	IV-2	Ag ⁺	2.5	800	65.42	3.125	0.066	2.447	37.408

注：富集系数=样品富集的离子质量 $\times 10^6$ /样品鲜重。

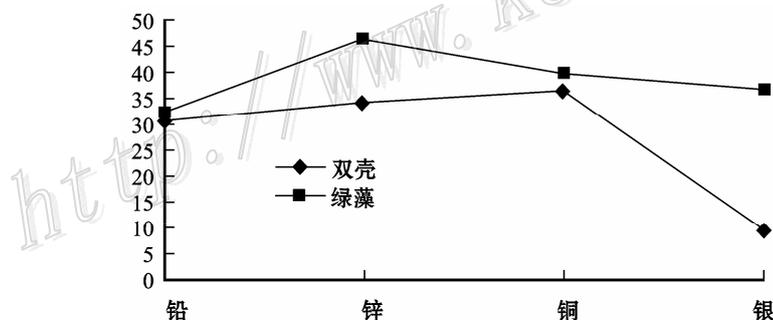


图 2 金属离子在不同培养液中的富集系数变化趋势图

实验结果表明：① 双壳、绿藻对 Cu²⁺、Ag⁺、Zn²⁺、Pb²⁺ 都有富集作用。富集系数为 30~40 左右；② 绿藻对 Cu²⁺、Ag⁺、Zn²⁺、Pb²⁺ 的富集系数分别是双壳对 Cu²⁺、Ag⁺、Zn²⁺、Pb²⁺ 的富集系数 1.09 倍、3.98 倍、1.36 倍和 1.04 倍。总体表现为绿藻的富集系数大于双壳的富集系数；③ 两种生物对有毒金属元素铅和银的富集系数较低；④ 双壳对铜离子的吸附系数较大于其他三种金属离子，而绿藻对锌离子的富集系数较大于其它离子，绿藻对银的富集系数与其它离子相比明显高于双壳。

以上实验表明，无论是低等水生生物，还是无脊椎动物，它们在生活过程中，都具有从水体中聚集多种金属元素的能力（海氏，1988），进而在一定条件下参与了成矿作用。那么在西秦岭泥盆系西成铅锌矿床成矿作用中，赋矿层位中的生物化石在地质时期是如何参与成矿作用的呢？

4 生物成矿机理及讨论

从表1中可以看出,生物在很短的时间内就将体内金属元素的含量富集到几十倍。由此推测,当矿液流进海水中,生物可以使海水中大量金属离子的富集形成了初始富集(殷鸿福等,1992)。这些生物死亡之后,生物体腐解,大部分形成新的有机质,如腐殖酸和干酪根。一方面,金属元素随腐解有机质(如干酪根)及其它沉积物一起,保存在沉积层中,形成沉积层中金属元素的富集。另一方面,腐殖酸保持有无定形物质的疏松结构,表面积大,粘度高,吸附能力强,同时它也含有大量活性官能团的多胶体(庄汉平等,1997),其主要官能团(-COOH、-OH等)的氢能游离出来而带负电荷,这种带负电荷的官能团与水体中的金属离子有很强的结合能力,它们不仅能够吸附金属元素,而且常与金属离子形成多种有机化合物及络合物。(叶连俊等,)在后期成岩成矿过程中,这些金属有机化合物及络合物具有很强的迁移能力,使层内的Pb、Zn元素活化释放出来进入成矿溶液,在合适构造部位聚集造成金属元素的相对集中(叶连俊等,1996,1998;殷鸿福等,1999)。

综上所述,西成铅锌矿床赋矿层位中的海相无脊椎动物和低等的水生生物在矿床形成过程中起到了重要作用。

参 考 文 献

- 林兵,程海生,苏文明,等.1992.甘肃西成矿田铅锌矿床的成矿物质来源探讨.地质科学,2:149~159.
- 林兵,侯会琼,程海生,等.1993.秦岭泥盆系西部地区层控铅锌矿带有机成矿作用探讨.地球化学,409~414.
- 林丽,朱利东,张萌,等.1999.藻、有机质、粘土矿物富金成矿对比实验.地质学报,73(1):66~72.
- 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.地球科学,24(4):503~506.
- 林丽,著.1993.拉尔玛金矿床中的生物作用.成都:成都科技大学出版社.1~67.
- 林丽.1994.现代绿藻和蓝细菌富集金的模拟实验.成都理工学院学报,21(4):42~44.
- 祁思敬,等.1989.喷气沉积矿床成因研究的几个问题.西安地质学院院报,11(3):30~38.
- 祁思敬,李英,等.1993.秦岭泥盆系铅锌成矿带.北京:地质出版社.1~240.
- 祁思敬,李英,曾章仁,等著.1993.秦岭热水沉积型铅锌(铜)矿床.北京:地质出版社.1~192.
- 武安斌,宋春晖.1993.甘肃西成铅锌矿田中泥盆统碳酸盐沉积相的初步研究.甘肃地质学报,2(1):25~33.
- 叶连俊,等著.1996.生物有机质成矿作用.北京:海洋出版社.1~283.
- 叶连俊,等著.1998.生物有机质成矿作用和成矿背景.北京:海洋出版社.1~462.
- 殷鸿福,谢树成.1992.四川松潘东北寨金矿预富集过程中的菌藻成矿作用.地球科学,17(3):241~249.
- 殷鸿福,张文淮,张志坚,等著.1999.生物成矿系统论.武汉:中国地质大学出版社.1~312.
- 庄汉平,卢家烂,温汉捷,等.1997.热液成矿流体中的有机物质.地质地球化学,1:85~91.
- R W 海氏.1988.生物无机化学.四川:科济技术出版社.1~185.