

金顶铅锌矿床生物有机成矿作用探讨^①

付修根

(成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059)

摘要 金顶铅锌矿床矿石矿物的演化经历了沉积成岩期、热卤水成矿期和表生成矿期三个阶段, 在这三个演化阶段中生物有机质均起着重要的作用。沉积成岩期表现为生物体对铅、锌等成矿元素的吸附作用以及腐殖酸的吸附、配合作用; 热卤水成矿期表现为有机羧酸的溶蚀作用以及对成矿环境的控制作用; 表生成矿期主要表现为地表细菌的氧化作用以及深部细菌的还原作用。

关键词 金顶; 有机质; 生物成矿作用; 铅锌矿

中图分类号 P618.4

文献标识码 A

金顶铅锌矿床是我国最大的铅锌矿床, 也是目前世界上17个超大型铅锌矿床之一。六十年代发现以来, 受到国内外学者的广泛关注。八十年代, 人们更为重视对其矿床成因的研究, 然而由于其复杂的构造特征及地质特征, 至今为止, 人们对金顶矿床的成因问题仍然存在分歧^[1-6]。该矿床具有如下特征: (1) 矿床内沥青质广泛发育, 充填于裂缝、溶洞及溶孔中, 并以微粒形式分布于含矿围岩及含矿地层中, 在闪锌矿晶粒间也常见沥青质充填。(2) 有机包裹体普遍存在。矿床的透明及不透明矿物中, 都有数量不等的有机包裹体存在。这些有机包裹体的气相组成以 H_2O 为主, 其次为 CO_2 , 气态烃约占1%, 主要为 CH_4 。这种特征类似于美国田纳西州的某MVT矿床包裹体特征, 经研究表明, 该MVT矿床的形成与古油藏有关^[7]。(3) 矿区内含矿地层及非含矿地层(三叠系灰岩)有机质含量均较高。金顶矿区内含矿地层有机质含量最高为4.29%, 平均为3.55%; 非含矿地层有机质最高含量为3.39%, 平均为1.99%^[8], 均大大高于同类沉积岩的平均含量(碳酸盐类岩石中有机质平均含量小于0.5%, 泥质岩2.1%, 砂岩类0.05%)。(4) 露头及光薄片中可见硫化物包裹、吞蚀有机质的现象。

以上分析可以看出, 生物有机质在金顶铅锌矿床的成矿过程中起着极为重要的作用, 基于此, 本文将以矿床中矿石矿物的演化为线索, 分别探讨生物有机质在矿石矿物各演化阶段中的作用。

1 矿床地质特征

兰坪—思茅盆地位于澜沧江大断裂和红河—哀牢山大断裂之间的狭缝型陆内裂谷盆

^① 收稿日期: 2003-12-29

万方数据

作者简介: 付修根(1976~), 男, 硕士, 主要从事盆地流体与金属矿床研究。

地^[3] ,金顶铅锌矿床即位于该盆地北缘(图1)。区域构造以南北向构造为基本格架,褶皱以开阔平缓,中段向东凸出呈弧形的高坪—老母井复式向斜为主体,断裂以长期活动性的泌江断裂为主体。矿床位于泌江断裂西侧的穹隆构造中,由北厂、跑马坪、架崖山、蜂子山、西坡、白草坪、南厂七个矿段组成。区内未见岩浆岩和火山岩。

矿区内地层可分为外来体和原地体两部分,外来地层体倒置在原地体之上。外来体有:三叠系三合洞组灰岩,歪古村组紫红色泥岩、粉砂岩,麦初箐组泥岩、页岩;中侏罗统花开左组紫红色砂岩、粉砂岩。原地体地层有:白垩系虎头寺组长石石英砂岩,第三系云龙组石英砂岩、灰岩角砾岩、含砾砂岩、含石膏泥质粉砂岩。矿体主要赋存于第三系云龙组地层中,在矿化强烈的地方,上覆中侏罗统地层中也见有局部矿化现象。富矿岩层主要是云龙组中、上段地层,以石英砂岩、灰岩角砾岩以及含砾砂岩为主,具有孔隙度好、渗透率高的特点,为有利的容矿空间;矿体呈层状、似层状及透镜状分布。云龙组下段地层则以泥质粉砂岩为主,具有孔隙度小、渗透率低的特点,是阻止成矿流体下渗的有利“遮挡层”。

矿石矿物按成分可分为硫化矿物和氧化矿物。硫化矿物以方铅矿、闪锌矿、黄(白)铁矿;氧化矿物发育较齐全,以方解石为主,硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐类氧化物均有出现,多见于地表部分。

矿体上、下围岩均有蚀变现象,主要的蚀变有方解石化、黄铁矿化、重晶石化及其它低温蚀变。

2 矿石矿物成矿期的划分

覃功炯等^[9]从岩石学和矿相学研究中归纳了金顶铅锌矿床的矿物生成顺序,如表1。从表中可以看出,金顶铅锌矿床中矿物的形成明显可以分为三期,即沉积成岩期、热卤水成矿期和表生成矿期。

沉积成岩期的矿物主要有石英、方解石、天青石、石膏、硬石膏、黄铁矿等,此期的铅、锌等成矿元素主要在有机质中,并与有机质一起沉积,形成初始的矿源层。矿石具有草莓状结构、生物结构、鲕粒结构以及缝合线构造。

热卤水成矿期是金顶铅锌矿床的主要成矿期,方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿等主要的金属矿物均在这一时期形成。该期的矿石具有交代溶蚀结构、晶粒结构、胶结变晶结构、同心环状结构、浸染状、斑块状、网脉状、角砾状、条带状构造,后期形成的矿石还具有管状构造和晶洞状构造。

表生成矿期的矿体主要是由于云贵高原的隆升使得金顶矿床遭受风化剥蚀后铅、锌等

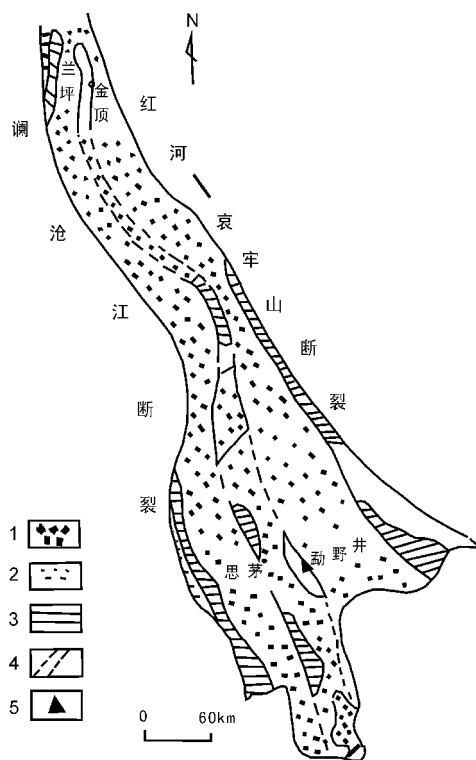


图1 兰坪—思茅盆地构造略图(据尹汉辉等,1990)

Fig.1 Tectonic map of Lanping-Simaobasins Mesozoic-Cenozoic Basin (after Yin Hanhui et al., 1990)

1-第三系地层;2-中生界地层;3-古生界地层;4-早第三纪狭缝裂谷带;5-勐野井钾矿

成矿元素氧化或再迁移形成的矿体。该期的矿石以氧化矿石为主,多为疏松的土状,另外也见有部分硫化物矿石。矿石组构主要有:晶族状、皮壳状和土状构造。

表 1 金顶矿床矿物生成顺序(据覃功炯等 ,1991)

Tabel 1 The mineral genesis sequence of the Jinding deposi(after Tan Gongjiong et al. ,1991)

成矿期 矿物名称	沉 积 成 岩 期	热卤水成矿期		表 生 期
		第一阶段	第二阶段	
方解石				
石 英				
天青石				
重晶石				
黄铁矿				
白铁矿				
闪锌矿				
方铅矿				
钎锌矿				
赤铁矿				
沥 青				
石 膏				
硬石膏				
铅 凡				
白铅凡				
铁菱锌矿				
菱锌矿				
水锌矿				
铝硬锰矿				
铝铁矾矿				
黑锌锰矿				
褐铁矿				
异极矿				
主要矿石结构	草莓状、生物晶粒	交代溶蚀、晶粒	胶结变晶同心环状	晶族、皮壳、土状
主要矿石结构	缝合线	浸染、斑块条带、角砾	班块、网脉、管状、晶铜状	
特 征 元 素	Si、Ca、Sr	Pb、Zn、Fe Ba、Sr、Si		

3 生物有机成矿作用

上文的分析表明,金顶矿床中的矿石矿物的形成经历了沉积成岩期、热卤水成矿期和表生成矿期三个阶段,在这三个阶段中生物有机质均起着重要的作用。

3.1 沉积成岩期的生物有机成矿作用

生物的正常生长发育和新陈代谢必须有一些元素参加,这些元素称为生命必须元素,包括 C、H、O、N、P、K 等 26 种元素,当然也包括 Zn、Fe。生物对 Zn、Fe 元素的依赖使得许多生物体成为 Zn、Fe 的富集体。虽然 Pb 是有害的重金属元素,但许多微生物却能够大量吸收

Pb 元素,从而使 Pb 元素初步富集。表 1 是双壳和绿藻富集 Pb、Zn 实验的模拟。

从表 2 中可以看出,无论双壳还是绿藻,对 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 都具有富集作用,而藻类对 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的富集系数更大,分别是双壳的 1.36 倍和 1.04 倍^[10]。对金顶矿床中有机质的研究表明,有机质母源主要为细菌和藻类^[11],虽然金顶矿区至今为止在含矿层内没有发现化石,但

表 2 双壳、藻类富集 Pb、Zn 实验模拟
Table 2 Simulation test of concentrating Pb and Zn in algae and bivalvia

样品名称	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		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	1	Pb^{2+}	15	4800	328.92	3.125	1.000	10.200	31.011
	2	Zn^{2+}	15	4800	343.90	3.125	0.667	11.789	34.308
绿藻	1	Pb^{2+}	2.5	800	61.42	3.125	0.640	1.988	32.367
	2	Zn^{2+}	2.5	800	53.40	3.125		2.500	41.816

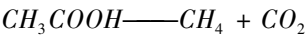
注:富集系数=富集的金属质量×10⁻⁶/样品鲜重

较老的三叠系灰岩中含有较丰富的化石(三叠系灰岩为金顶铅锌矿床有机质的主要来源层),主要有双壳类、头足类、珊瑚、藻类、介形类等多个门类的众多属种^[12]。金顶矿区早期富含海相无脊椎动物和低等生物的现象在矿床的形成中起着重要的作用。一方面,菌、藻类以及无脊椎类动物以铅锌等成矿元素为“食”,使得海水中金属离子成矿元素富集。随着这些生物的死亡,铅锌等金属元素和其它沉积物一起保存在沉积地层中。另一方面,这些生物死亡后形成腐殖酸,腐殖酸保持有无定形物质的疏松结构,具有表面积大、粘度高、吸附能力强的特点^[13],而其主官能团(—COOH, —OH)的氢易于游离出来带负电荷,这种带负电荷的官能团具有较强的络合和胶合作用,对水体中的金属离子具有很强的结合能力^[10]。因而使得海水中的铅锌等成矿元素和官能团一起随着其它物质的沉积而沉积。

3.2 热卤水成矿期的有机成矿作用

对金顶铅锌矿床闪锌矿及有关脉石矿物(石英、天青石、方解石和硬石膏)的流体包裹体的研究表明,均一温度主要在 110~150℃ 之间^[14],根据生油理论,这一温度正好处于“生油窗”的温度范围内(60℃~210℃),即有机质处于成熟阶段,为主要的生烃时期,而这时期也正是金顶铅锌矿床的主要成矿期。

随着地层埋藏深度的增加,地层中的有机质进一步演化,当埋深达到一定深度时有机质演化开始达到成熟阶段,此期的有机质以油田卤水或石油的形式存在。金顶铅锌矿床包裹体组分分析表明,主成矿期成矿流体富含大量的有机羧酸。一方面,有机羧酸对金属矿物具有溶蚀作用,能够与地层中的 Pb、Zn 等金属元素形成配合物而迁移。另一方面,有机羧酸的存在还能够控制金属矿床的成矿环境。有机羧酸不仅控制着成矿流体的水动力条件而且还控制着成矿流体的 pH 值,使流体体系处于还原状态($E_h < -200\text{ mV}$),在温度达 120℃ 以上时,有机羧酸开始分解:



反应生成甲烷和二氧化碳^[16],地层水中有有机羧酸离子的不断分解缓冲了流体溶液的 pH 值,同时这种缓冲作用对 CO₂ 分压力变化导致碳酸盐岩—水体系变化。有机羧酸对金属矿床成矿环境控制对金顶铅锌矿床的形成起着重要的作用,还原的环境是金顶铅锌矿床

形成的必备条件,水—岩体系的变化对于地层中 Pb、Zn 等成矿元素的活化迁移尤为重要。

虽然不同地区不同地层原油中金属元素含量千差万别,但原油中的金属含量普遍偏高。据研究,原油中 Pb 元素含量最高可达 1.25×10^{-6} ,而 Zn 元素的含量更高,可达 130×10^{-6} 以上^[17]。对金顶铅锌矿床的研究发现,在与矿床共生的灰岩角砾岩、深灰色泥晶灰岩中见有多层晶洞型和裂缝型液态石油^[11]。这一现象表明,原油在金顶铅锌矿床的形成过程中起着积极作用。原油中含有 O、S、N 的配位体,能从地层中萃取 Pb、Zn 等金属元素,因此原油的生成和初次运移对分散的多金属元素具有强烈的活化和富集能力,在中—弱碱性条件下,原油对金属元素具有更强烈的富集趋向。然而, Pb、Zn 等成矿元素的油水配分系数小,分别为 0.019、0.037^[17],因此,只可能是部分 Pb、Zn 以这种形式迁移。

4 表生成矿期的生物成矿作用

金顶矿区富含有机质的成矿流体由于受上覆岩层的“封堵作用”而就位于一定的构造空间及岩层空间(即储集层),由于储集层中本身含有孔隙水及大气降水^[6],成矿流体在储集层中与储集水发生流体混合作用,因物理化学条件的剧变而发生矿物质沉淀,进而形成矿床。之后金顶矿区开始了表生成矿期的演化。

金顶矿区表生期成矿主要表现为后期的构造破坏作用,同时也有微生物参与下的氧化、还原作用。细菌(如氧化亚铁流杆菌)在较低 pH 值时对黄铁矿等金属硫化物具有强烈的氧化作用,形成以含硫酸亚铁为主的酸性溶液,这种酸性溶液的存在加速了方铅矿和闪锌矿的氧化,形成较易溶的 PbSO_4 及 ZnSO_4 ,进而形成金顶铅锌矿床中的氧化矿石。由于 PbSO_4 和 ZnSO_4 较易溶解,使得部分 Pb、Zn 等成矿元素得以活化迁移,与大气水一起继续向深部地层运移,当运移到潜水面之下的溶洞及裂隙中时,有机质和硫酸盐的存在为硫还原细菌的大量繁殖创造了良好条件^[18]。在硫酸盐还原菌的参与下, SO_4^{2-} 被还原形成 S^{2-} ,而 S^{2-} 又重新与 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等金属离子结合形成方铅矿和闪锌矿,进而形成金顶铅锌矿床中的次生硫化物矿。

5 小结

金顶矿床矿石矿物的演化经历了沉积成岩期、热卤水成矿期及表生成矿期三个阶段,在不同的矿石矿物演化阶段,生物有机质均以不同的形式存在,并对矿石矿物的形成起着重要的作用:

(1) 沉积成岩期,藻类及其它生物体以 Pb、Zn 等成矿元素为“食”,使得海水中大量的金属成矿元素的初始富集。随着这些生物的死亡, Pb、Zn 等成矿元素沉积下来,同时,这些死亡生物体形成的腐殖酸对 Pb、Zn 等成矿元素具有强烈的吸附作用。

(2) 热卤水成矿期,有机质以有机羧酸的形式大量存在于地层水中,有机羧酸对 Pb、Zn 等成矿元素具有较强的溶蚀作用,同时这些有机羧酸的存在能够控制矿床的形成环境。原油残留的存在表明原油在金顶铅锌矿床的形成过程中起着积极作用,但只是部分 Pb、Zn 等成矿元素以这种方式运移。

(3) 表生成矿期,由于矿体大量暴露于地表,使得黄铁矿等金属硫化物易于氧化,而矿区内大量氧化细菌的存在不仅加速了黄铁矿等硫化物的氧化,也使得方铅矿、闪锌矿等极难溶的硫化物氧化形成氧化矿石,部分 Pb、Zn 等成矿元素发生了再迁移,在潜水面之下的溶

洞及裂隙中,由于硫还原细菌的存在发生再沉淀,形成次生硫化物矿。

参考文献

- [1] 施加辛,易风煌,文其. 兰坪金顶铅锌矿的岩矿特征及成因[J]. 云南地质,1983,2(3):179-195.
- [2] 白嘉芬,王长怀,纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 矿床地质,1985,4(1):1-9.
- [3] 王京彬,李朝阳,陈晓钟. 金顶铅锌矿成因新说[J]. 有色金属矿产与勘探,1992,14(4):200-206,256.
- [4] 王江海,颜文. 陆相热水沉积作用—以云南地区为例[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [5] 杨友华,赵淮. 试论金顶超大型铅锌矿床的成矿条件[J]. 云南地质,1991,10(2):230-240.
- [6] 王国芝,胡瑞忠,王成善,等. 云南金顶超大型铅锌矿床的成矿地质背景[J]. 矿物学报,2001,21(4):571-577.
- [7] Jones H D, Kesler S E. Fluid inclusion gas chemistry in east Tennessee Mississippi Valley-type districts: Evidence for immiscibility and implication for depositional mechanisms[J]. Geochim et Cosmochim, Acta, 1992, 36: 137-154.
- [8] 胡明安. 有机质的热液成矿作用在云南金顶铅锌矿床形成过程中的意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1989, 14(5):503-512.
- [9] 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.
- [10] 林丽,朱利东,庞艳春,等. 西成铅锌矿床的生物成矿模拟实验研究[J]. 矿床地质,2002(增刊):423-426.
- [11] 张金亮,常向春. 金顶铅锌矿床油气地球化学特征及成矿作用探讨[J]. 青岛海洋大学学报,2003,33(2):264-274.
- [12] 云南地质局区域地质调查队,第三地质大队. 1:5万兰坪幅、马登街幅区域地质调查报告[R]. 云南地质局,1990.
- [13] 庄汉平,卢家烂,温汉捷,等. 热液成矿流体中的有机物质[J]. 地质地球化学,1997,1:85-91.
- [14] 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.
- [15] 温春齐,覃功炯,刘文周. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 矿物岩石,1995,15(4):78-84.
- [16] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [17] Manning D A, Gize A P. Organic geochemistry: Principles and Application[M]. New York: Plenum, press. 1993.
- [18] 高怀忠. 云南金顶铅锌矿床铅的次生硫化物富集作用及矿体特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报,1989,14(5):539-543.

Discussion on biogenic and organic mineralization of the Jinding Pb -Zn deposit

FU Xiu-gen

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract

The ore minerals of the Jinding Pb-Zn deposit formed in three different periods: sedimentary-diagenetic period, hydrothermal period, and supergene mineralization period. Biologic and organic matter played an important role in different periods. Biology and humus acids absorbed Pb and Zn during sedimentary-diagenetic period. Carboxylic acids could dissolve Pb and Zn and control mineralization environments during hydrothermal period. During supergene mineralization period, bacteria could participate in oxidization on the earth's surface, and deoxidize in deep layers.

Key words: Jinding; organic matter; biogenic mineralization; Pb-Zn deposit

万方数据