

黔西南水银洞层控卡林型金矿床成矿机理初探

夏勇¹, 苏文超¹, 张兴春¹, 陶琰¹, 刘建中², 刘川勤²

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学重点实验室, 贵阳 550002;

2. 贵州紫金矿业股份有限公司, 贞丰 562200

关键词: 层控卡林型金矿床; 成矿机理; 地球化学; 黔西南

1 矿床地质

贵州省贞丰县水银洞金矿是一个近年来发现的、具较高品位、资源量已达特大型的层控卡林型金矿床。该矿床地处扬子准地台西南缘与华南褶皱系右江褶皱带西延部分的接合部位灰家堡背斜东段, 与紫木幽大型金矿床、太平洞大型金矿床一同构成了灰家堡金矿田(图1)。矿床受灰家堡背斜核部构造和有利岩性组合控制。矿体产出于灰家堡背斜轴部附近 300 m 范围内。矿体呈层状、似层状、透镜状产出, 产状与岩层产状一致。走向上具波状起伏, 向东倾没; 空间上具有多个矿体上下排布的特点。矿床容矿地层有二: 一是构造蚀变体(Sbt), 产于茅口组不整合接触面之上, 为一套强蚀变的构造角砾岩; 二是龙潭组(P₃l), 为一套煤系地层, 细碎屑岩含炭质粘土岩及煤线, 之中夹生物屑灰岩, 矿化岩石主要为硅

化白云石化生物碎屑灰岩(图2)。围岩蚀变主要有硅化、白云石化、黄铁矿化、次有毒砂化、雄(雌)黄化、粘土化和萤石化等热液蚀变。其中硅化、白云石化、黄铁矿化(伴有毒砂化)与金矿关系极为密切。矿石中金属矿物有黄铁矿、毒砂、赤铁矿、辉锑矿(偶见)、辰砂(偶见)、雄黄(偶见)、自然金(偶见)。脉石矿物及脉石有石英、白云石、方解石、水云母、绢云母、高岭石、有机碳。从矿石矿物成分特征和物相分析可知黄铁矿和毒砂是金的载体矿物。

2 矿床地球化学

2.1 微量元素地球化学

选择各种不同岩石类型中蚀变较弱或未蚀变的样品微量元素组成与含矿岩系同类岩石微量元素组成对比, 在含矿岩系中 Au、As、Cu、Sb、Tl、Pb 相对同类未蚀变岩石有显著增加, 反映矿

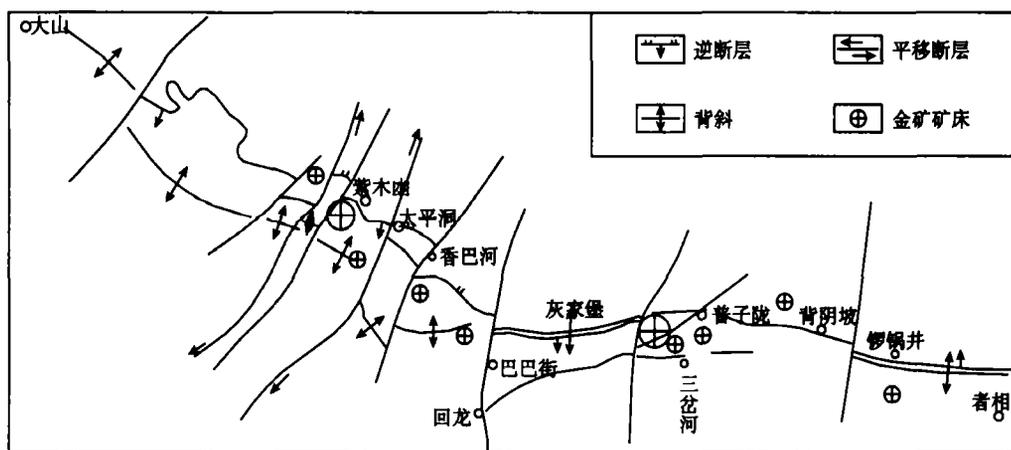
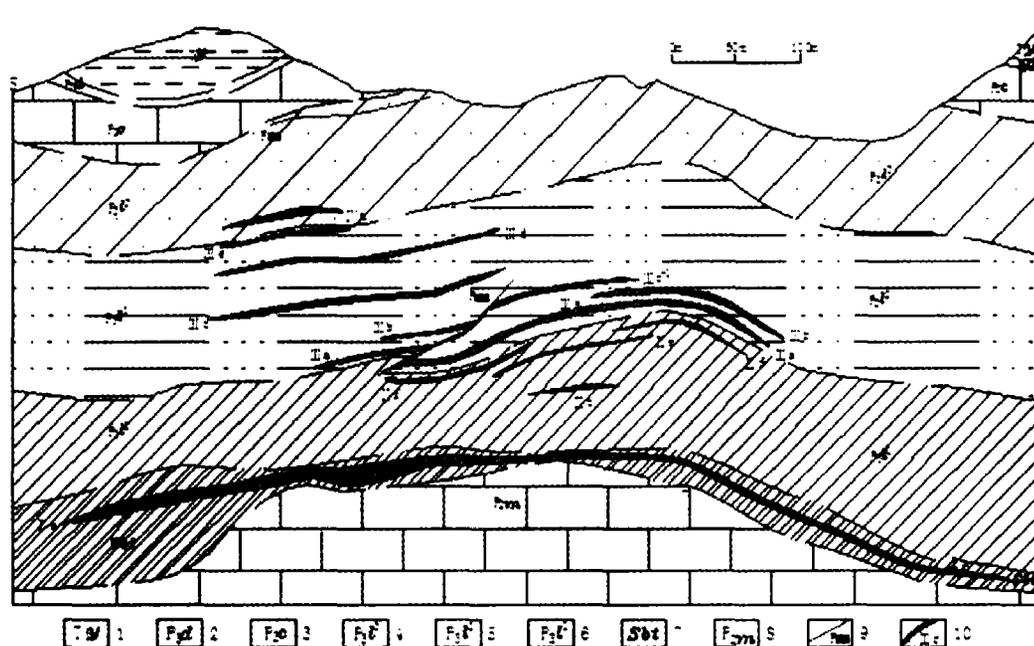


图1 灰家堡背斜金矿田构造地质略图

基金项目: 贵州紫金矿业公司与中国科学院地球化学研究所合作项目; 中国科学院地球化学研究所领域前沿项目; 贵州省自然科学基金资助项目(2003-3056)

图2 贵州省贞丰县水银洞金矿床7勘探线剖面图^[1]

1. 夜郎组; 2. 大隆组; 3. 长兴组; 4. 龙潭组三段; 5. 龙潭组二段; 6. 龙潭组一段; 7. 构造蚀变体;
8. 茅口组; 9. 断层及编号; 10. 矿体及编号

表1 含矿岩系平均值与未蚀变样品含量比值

元素	含矿平均值/未蚀变样品				元素	含矿平均值/未蚀变样品			
	灰岩	泥灰岩	粘土岩	泥质粉砂岩		灰岩	泥灰岩	粘土岩	泥质粉砂岩
Au	79.80	55.14	69.33	82.50	Zr	1.15	1.34	1.32	0.70
Sc	1.06	1.14	1.15	0.50	Nb	1.32	1.42	1.29	0.68
TiO ₂	1.25	1.04	1.19	0.62	Mo	1.59	6.56	1.42	1.48
V	0.65	1.46	1.23	0.66	Cd	1.87	2.76	2.67	6.31
Cr	0.55	2.32	1.01	0.54	Sn	0.57	2.20	1.79	0.97
MnO	1.25	1.69	0.45	1.20	Sb	2.91	7.95	11.73	32.80
Co	1.30	1.41	1.86	0.62	Cs	1.94	1.39	1.05	0.32
Ni	1.22	1.12	1.06	0.72	Ba	1.01	0.73	1.14	3.07
Cu	3.74	2.27	2.47	1.57	Hf	0.95	1.29	1.29	0.73
Zn	2.07	1.92	1.04	0.82	Ta	1.17	1.29	1.28	0.73
Ga	1.32	1.18	1.38	0.63	Tl	109.0	53.27	69.07	34.92
Ge	0.50	1.17	1.20	0.71	Pb	1.53	1.52	1.62	1.30
As	22.00	19.39	94.26	63.08	Th	0.96	1.04	1.21	0.79
Rb	1.60	1.14	1.51	0.87	U	0.70	3.34	1.47	2.01
Sr	0.25	0.60	0.51	0.86	REE	0.95	1.52	1.42	0.72
Y	0.84	1.61	1.31	0.74					

化热液蚀变带入了组分。Ti、Sc、Nb、Ta、Zr、Hf、V、Cr、Co 及 Sn、Ga、Ge、Cd、Rb、Cs、Ba、Mn、Zn、Th、REE 变化不大, 根据元素地球化学性质分析, 前一部分为相对惰性元素, 基本上不受热液活动改造, 后一部分元素随热液有一定的活动性, 但叠加改造的影响较小。

Au、As、Cu、Sb、Tl 在各类岩石中的原始含

量(以未蚀变样品为参考)相差并不大, 其变化远低于矿化蚀变作用所造成的差异, 从表1可以更清晰地看到, Au、As、Cu、Sb、Tl 在各类矿化岩石中含量平均值与在同类未蚀变岩石中含量的比值高达数十倍到上百倍, 其中, Au、As、Tl 最高, 可以认为, 这些元素在矿化岩系中的含量基本上来自于矿化热液活动的影响, 在原岩中的

表2 水银洞金矿矿石中黄铁矿硫和铅同位素组成及有关参数

层位	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄/Ma	φ	μ	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
II e	-0.43	18.361	15.56	38.452	153	0.582	9.39	15.003	26.208
II f	-8.41	18.383	15.642	38.729	239	0.589	9.55	20.352	33.600
III a	5.72	18.304	15.54	38.501	169	0.583	9.36	13.699	27.515
III b (底板)	8.16	18.145	15.551	38.382	300	0.595	9.4	14.416	24.339
III b (下矿层)	27.17	17.942	15.56	38.158	457	0.61	9.44	15.003	18.361
III b (上矿层)	21.11	18.452	15.532	38.332	49.1	0.573	9.33	13.177	23.005
II f (平行样)	-8.64								

注: $\Delta\beta = \frac{\beta - \beta_M}{\beta_M} \times 1000$; $\Delta\gamma = \frac{\gamma - \gamma_M}{\gamma_M} \times 1000$; β = 样品的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; γ = 样品的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; β_M = 地幔的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ =

15.33; γ_M = 地幔的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 37.47; 分析单位: 宜昌地质矿产研究所同位素研究室。

原始含量相对而言可以忽略不计, 它们是水银洞金矿最基本的热液活动元素。其含量与未蚀变岩石中元素含量的比值可以作为衡量成矿热液蚀变强度的基本参数。As、Cu、Sb、Tl 特别是 As 可以作为找矿指示元素。

成矿岩系微量元素、稀土元素组成及变化支持成矿作用为低温热液成矿, 支持水银洞金矿成矿流体为超压流体的观念。

2.2 硫铅同位素地球化学

分析表明(表2)矿石中黄铁矿的硫同位素组成变化很大, $\delta^{34}\text{S}$ 分析值 +27.17‰ ~ -8.64‰, 极差值为 35.81‰, 离散度为高度分散, 可能除显示出沉积成因硫的特征外, 有其他硫源的加入。黄铁矿单矿物电镜分析表明, 矿石中黄铁矿包括草莓状(不规则状)黄铁矿粉晶和环带状黄铁矿, 后者由砷黄铁矿表层(热液成因)和草莓状(不规则状)黄铁矿内核(原生沉积成因)组成。硫同位素值代表了原生沉积成因和热液成因黄铁矿的硫同位素的混合, 由于多数情况下黄铁矿内核(成岩成因)所占的体积比成矿期形成的砷黄铁矿环带要大得多, 因此硫同位素值主要代表成岩成因黄铁矿的硫同位素组成, 并不能代表成矿流体中硫的同位素组成。

水银洞金矿矿石热液黄铁矿铅同位素组成有较大的变化(表2), 黄铁矿 Pb 同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.942 ~ 18.452, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.532 ~ 15.642, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.158 ~ 38.729。在 Cannon 铅同位素演化图中落在正常铅的小三角形范围内。已有研究表明, 黔西南金矿区既有正常铅, 也有异常铅^[2]。前者包括单一来源或多来源混合的铅源, 围岩地层或与地层密切相关的样品

以异常型铅和以高放射成因铅为主^[3-4], 水银洞金矿矿石热液中黄铁矿铅同位素组成的变化反映成矿物质可能具有多来源或混合成因。

2.3 包裹体地球化学

流体包裹体按成因可分为原生和次生两大类。石英中原生流体包裹体以孤立状分布、负晶形为其特征, 一般大小(直径) 5 ~ 60 μm , 多数为 10 ~ 30 μm ; 次生流体包裹体则呈不规则状或负晶形, 一般大小 5 ~ 50 μm , 多数 10 ~ 50 μm , 通常沿次生裂隙或曲面分布, 但次生裂隙中常见黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄(雌黄)等硫化物, 反映了早期石英形成之后的多次张裂。这些沿次生裂隙分布的流体包裹体应保存成矿流体的信息。

按室温(25℃)下包裹体的相态特征以及冷冻过程中相的变化, 流体包裹体可划分为液相 $\text{CH}_4 - \text{N}_2 - \text{CO}_2$ (L $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2$)、气相 $\text{CH}_4 - \text{N}_2 - \text{CO}_2$ (V $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2$)、气液相 V $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 、富 CO_2 、气液相 $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 五大类。这些流体包裹体常共生在一个平面内或裂隙中, 暗示它们之间曾经历了不混溶的过程。

近 200 个流体包裹体显微测温结果表明, 主成矿期 V $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{L}$ 相流体包裹体的均一温度为 200 ~ 220℃, 盐度为 5% ~ 6% NaCl; 与 V $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{L}$ 共存的富 CO_2 相流体包裹体, 也显示相同的均一温度范围(200 ~ 220℃), 可能暗示成矿流体经历了由相对还原到氧化的演化过程, 成矿流体物理化学条件的变化, 可能是导致金沉淀的重要因素。

初步压力计算表明, 成矿流体具有很高的压力((160 ± 40) MPa), 相当于静岩压力指示的(6.4 ± 1.6) km 深度, 而黔西南地区三叠系、侏

罗系、白垩系的地层厚度约为 4 km, 表明 $p_{\text{fluid}} > p_{\text{lithostatic}}$, 成矿流体显示了超压流体 (overpressured fluid) 的性质。在相对封闭的构造体系 (如逆冲断裂) 中, 成矿流体的异常超压能够驱动流体侧向运移与渗透, 较大的压力甚至使岩石发生水动力破碎, 从而导致一定范围内围岩地层 (不纯碳酸盐岩) 的硅化、白云石化等热液蚀变, 形成水银洞式断裂-地层层位复合控矿的空间分布格局。同时, 超压流体的快速运移与释放, 可能是金沉淀的重要成矿机制。因此, 广泛的硅化、白云石化等热液蚀变是寻找水银洞式卡林型金矿的重要野外找矿标志。

3 成矿模式探讨

通过地质地球化学的综合研究和成矿作用有关问题的讨论, 水银洞金矿床成矿模式可概括为: 印支晚期至燕山早期的构造运动结束了本区盆地演化历史, 地层褶皱、断裂, 深大断裂和岩浆活动发育, 地温异常高, 地壳深部和上地幔形成了富含挥发份活动元素的成矿流体, 流体浸取基底和深部富 Au 和 Hg、Sb、As、Tl 等地层岩石^[5]中的成矿元素而成为超压成矿流体。此时地壳处于挤压封闭的应力状态, 超压成矿流体被封存在深部, 与岩石圈处于强力平衡状态中。燕山晚期本区处于拉张伸展状态, 偏碱性超基性岩脉 (筒) 的贯入, 基底先存断裂再度复活, 并与盖层断裂一起切穿地壳, 破坏了超压成矿流体的封存条件, 断裂系统就像抽水泵一样, 使成矿流体汇聚并进入地壳上部, 在有利部位由于成矿条件的骤变, Au 被快速沉淀富集形成金矿床, Hg、Sb、As、Tl 等成矿元素也在适应的部位沉淀成矿, 造成我们今天所见到的黔西南地区卡林型金矿成矿在区域上 Au-Hg-Sb-As-Tl 密切共生或伴生而各自矿床又有分异的现象。灰家堡短轴背斜的形成和上二叠统龙潭组粘土岩→生物屑灰岩→粘土岩岩性组合有利矿床生成。富含 CH₄、N₂ 和 CO₂ 挥发份和 Au 的超压成矿流体沿龙潭组底部的不整合面进入背斜核部, Au 在成矿流体中可能是以 Au-S 配合物形式存在^[6-9], 较高的压力和挥发份的存在, 使成矿流体在有利岩性组合中的生物屑砂屑灰岩中作一定程度的侧向运移与渗透, 有时超压流体

还对围岩造成水动力破坏。随着构造的发展, 断裂破坏了由背斜和有利岩性组合构成的圈闭, 使流体中的挥发份发生快速逃逸, 流体的压力骤降, 还原性降低。地层硫、其他组分、大气降水的局部和部分加入, 造成成矿条件巨大反差, 迅速向有利于 Au 沉淀方向转变, Au 随含砷黄铁矿的快速结晶 (部分是在沉积成因的黄铁矿内核上结晶) 或细粒毒砂的形成而快速沉淀下来。断层的贯通和剖面上有利岩性组合的重复出现致使水银洞金矿床有多层矿体产出。而成矿热液中的 Hg 和 Tl 因具有更高的活动性, 而在金矿外围的高角度张扭性断层中形成矿床。这样形成了水银洞矿区背斜核部和低角度压扭性断层控金和稍晚的高角度张扭性断层控汞或汞-铊的成矿规律。

致谢: 在项目实施过程中, 涂光炽院士给予了多方面指导, 在此表示诚挚感谢。

参考文献:

- [1] 刘建中. 贵州省贞丰县岩上金矿床地质特征[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 174-178.
- [2] 刘显凡, 刘家军, 朱赖民, 卢秋霞. 滇黔桂微细浸染型金矿铅同位素组成及应用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(3): 178-182.
- [3] 福尔. 同位素地质学原理[M]. 潘曦兰, 等译. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 张乾, 潘家永, 邵树勋. 中国某些金属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 231-238.
- [5] 胡瑞忠, 王国芝, 苏文超, 彭建堂, 毕献武. 大面积低温成矿域及其超大型矿床的形成[M]//赵振华, 涂光炽, 等. 中国超大型矿床(II). 北京: 科学出版社, 2003.
- [6] Seward T M. The complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1973, 37: 379-399.
- [7] Hofstra A H, Cline J S. Characteristics and models of Carlin-type gold deposits[M]//Hagemann S G, Brown P E. Gold in 2000: Reviews in Economic Geology, 2000, 13: 163-220.
- [8] 张均, 吕新彪, 杨逢清, 廖群安, 王苹, 王可勇, 张晓军, 王全伟, 王红梅, 陈康林, 付绍洪. 川西北金矿地质和成矿预测[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002.
- [9] Zhang X-C, Spiro B, Halls C, Stanley C J, Yang K-Y. Sediment-hosted disseminated gold deposits in southwest Guizhou, PRC: their geological setting and origin in relation to mineralogical, fluid inclusion, and stable isotope characteristics [J]. International Geology Review, 2003, 45: 407-470.