

湖南香花岭锡多金属矿床中 伴生银的富集规律及其找矿意义

罗贤昌 王增润 罗贤国

(中南工业大学) (香花岭锡矿)

研究了香花岭锡多金属矿床中的伴生银,着重从时空分布、矿物组合、元素相关性,以及元素的地球化学行为等方面,论述了银的富集规律,指出了伴生银矿床找矿或预测的地质条件和伴生银富集的标志型性。

关键词: 锡多金属矿床; 伴生银; 富集规律; 找矿意义



岩矿工作

香花岭矿床是湖南省著名的锡、铅、锌、稀有金属矿床。作者对该矿区的伴生银作了较详细的研究。现已查明,该矿床中银的平均含量已超过工业品位,银的估算储量重属中一大型。

地质背景

香花岭矿区(包括新风、太平、塘官铺矿段)矿体的空间展布和产出形态,主要受“入”字型构造控制(图1)。控矿地层主要是寒武系下统浅变质长石石英砂岩,泥盆系中统跳马涧组砂岩、棋梓桥组白云岩、上统锡矿山组白云岩。含矿岩体(癞子岭岩体)为富硅、氟、碱,贫铝、钙、镁、铁的碱质偏酸性黑云母花岗岩,其钾氩法同位素地质年龄为155百万年,属燕山中晚期的复式岩体。从平面上看,太平矿段距岩体中最近,位于岩体的北东方向约0.5公里;新风矿段位于岩体的北东方向约1.5公里;塘官铺矿段位于岩体北西方向2~3公里。

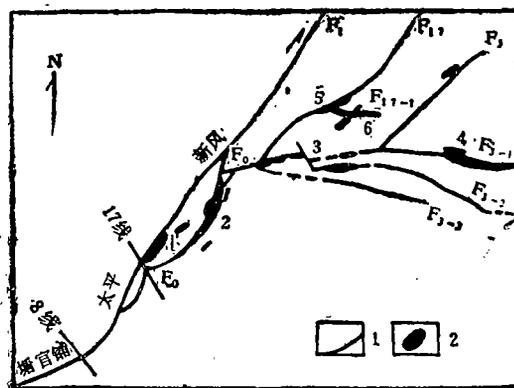


图1 香花岭矿区矿体分布平面示意图
1—断层; 2—矿体

矿石类型和矿石成分较复杂。已发现40余种矿物,其中金属矿物主要有锡石、黑钨矿、磁铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、自然铋、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、以及辉银矿、深红银矿、银铋铜矿、黝铜矿等。

银的含量及其富集规律

该区银含量平均值156.4克/吨,且变化幅度较大(3.0~845克/吨)。分布不均匀,

但具有明显的富集规律。

(一) 空间上, 银具有远离癞子岭岩体相对富集, 而靠近岩体相对贫化的规律。

香花岭矿区不同矿段中银含量平均值 表 1
(原子吸收光谱分析)

矿段	样品数 (个)	银含量 (克/吨)	变化范围 (克/吨)	变化系数 (%)
新风	5	275.76	8~845	129.1
太平	5	89.8	5.6~410	199.4
塘官铺	10	130.02	3.0~400	97

分析单位: 湖南省地质实验研究中心。

由表1看出, 各矿段中银含量变化较大, 以塘官铺矿段变化系数最小。银的含量以新风矿段的平均值最高(达275.76克/吨)。相当于塘官铺矿段银含量的2倍、太平矿段的3倍。以太平矿段为中心, 往西至塘官铺矿段40线、往东至新风矿段IV矿体, 银含量均有逐渐增高的趋势。

不同矿体银含量差异较大, 其中以远离岩体的新风矿段IV号陡倾斜脉状矿体(含锡铅锌型)中银含量最高(达845克/吨), 而靠近岩体的塘官铺矿段的I号矿体(夕卡岩锡硫化物型)中银含量最低(仅10.1克/吨)。

同一矿体在不同矿段中银含量的横向

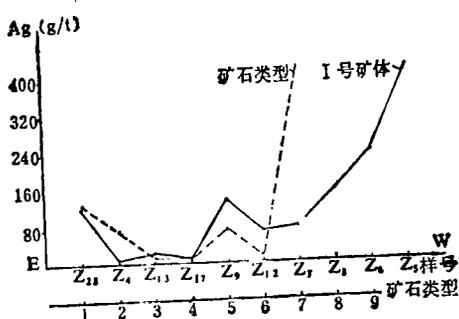


图 2 香花岭 I 号矿体和不同类型矿石中银含量变化曲线

矿石类型: 1—石英脉型锡铅锌矿石; 2—石英网脉型锡铅锌矿石; 3—夕卡岩型锡矿石; 4—磁黄铁矿型锡矿石; 5—磁黄铁矿-毒砂型锡矿石; 6—磁铁矿型锡矿石; 7—含锡铅锌型矿石

变化情况是: I号似层状矿体自岩体向外沿东、西两侧银含量逐渐增高, 而以西部的塘官铺矿段银含量增高幅度最大(图2)。

综上所述, 横向上, 银具有自岩体向外, 远离岩体富集, 靠近岩体贫化的变化规律。

(二) 时间上, 银主要富集于岩浆期后中温热液成矿阶段。

1. 以夕卡岩及高温热液阶段为主的矿物组合(夕卡岩型锡矿石、磁黄铁矿型锡矿石、磁黄铁矿毒砂型锡矿石、磁铁矿型锡矿石)银含量低, 而以中温热液阶段为主的铅锌矿物组合(石英脉型锡铅锌矿石、含锡铅锌矿石)银含量高(图2)。方铅矿的模式年龄平均值为125百万年, 稍晚于癞子岭岩体年龄(155百万年), 表明含矿热液为燕山期岩浆期后热液期的产物, 银富集于中温热液阶段。

闪锌矿中银、铁、镉含量及爆裂温度 表 2

矿段	样品数 (个)	Ag、Fe ²⁺ 、Cd 含量平均值			爆裂法测 温平均值 (°C)	矿化阶段
		Ag (克/吨)	Fe ²⁺ (%)	Cd (%)		
新风	3	615.6	15.01	0.46	312	早(亚)阶段
太平	4	41.8	11.16	0.56	240	晚(亚)阶段

分析单位: 1.成分分析: 中南工大中心分析室(Fe²⁺、Cd);

2.测温: 中南工大地质系测温室。

2. 由表2可知, Fe²⁺高、Cd低的深色(棕黑色)闪锌矿中银含量高, 成矿温度为312°C; 反之, 浅色(褐色)闪锌矿的银含量低, 成矿温度240°C, 说明银矿化温度范围为200~300°C。闪锌矿有两个矿化阶段, 早(亚)阶段银较富集, 晚(亚)阶段银相对贫化。

3. 由表3和图3可知, 温度较高时(200~250°C)所形成的早(亚)阶段细粒方铅矿含银较高, 且Ag与Bi成正消长关系; 而温度较低时(100~150°C)所形成的晚(亚)阶段粗粒方铅矿含银相对低, 且Ag的

含量有随Sb含量增加而升高的趋势。因此，方铅矿中的Sb/Bi比值既可作为成矿温度和矿化深度的指示剂，又是判断方铅矿中Ag相对含量的标志。

方铅矿中银、锑、铋含量及其Sb/Bi比值和爆裂温度表 表 3

样号	矿物粒级	银、锑、铋含量 (克/吨)			Sb/Bi	爆裂 温度 (°C)	矿化 阶段
		Ag	Sb	Bi			
B ₅	细粒	5967	270	10900	0.025	254	早(亚)
B ₁₂	中—细粒	5912	230	11500	0.02	236	阶段
d ₃₈	中粒	966.5	1050	0	∞		晚(亚)
B ₁₄	中粗粒	2348	2000	1800	1.11	137	阶段
B ₂	粗粒	2629	3200	475	6.74	154	

测试单位：1.成分分析：湖南省地质实验研究中心，
2.测温：中南工业大学地质系测温室。

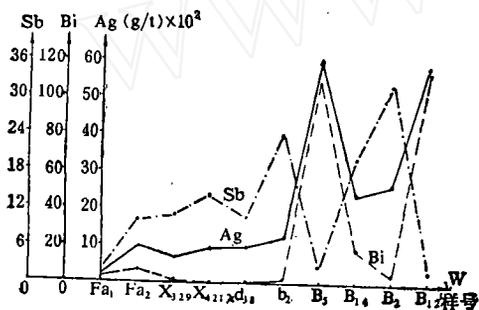


图 3 香花岭矿区方铅矿中银、锑、铋含量变化曲线

上述表明，中温热液阶段是Ag的主要矿化阶段，早(亚)阶段细粒方铅矿和深色闪锌矿中相对富Ag，晚(亚)阶段粗粒方铅矿和浅色闪锌矿中银含量相对较低。

(三) 矿石中的Ag—Cu—Pb—Zn元素组合，反映了银富集的亲硫性大于亲铁性。

图2表明，银富集于贫铁、富硫的铅锌矿石中，属Pb—Zn(Cu)—Ag型元素组合，而贫硫、富砷的磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿型矿石中银含量低，从而显示了银有强的亲硫性，这是因为银的电子构型为 $4d^{10}5s^1$ ，接近 $3d^{10}4s^1$ 电子构型的铜型离子。

1. Ag与主元素Pb、Zn、Cu、Sn的相关性

作者将矿石中的Ag与主元素的含量进行了一元线性回归相关分析，分别计算矿石中元素对(Pb—Ag、Cu—Ag、Zn—Ag、Sn—Ag)的相关系数(表4)，并求出相应的回归方程。结果(图4、图5)表明：

矿石中银与铜、铅、锌、锡相关系数和回归方程 表 4

元素对	矿石 样数 (个)	相关系数 ($\gamma_{\text{计}}$)	相关系数 检验值 ($\gamma_{\text{理}}$)	回归方程
Cu—Ag	20	+0.833	α 为0.01时的	$\hat{y}_{\text{Ag}} = -0.0055$
Pb—Ag	20	+0.797	$\gamma_{\text{理}} = 0.561$	$+0.061x(\text{Cu})$
Zn—Ag	20	+0.57		$\hat{y}_{\text{Ag}} = 0.005 +$
Sn—Ag	20	-0.294		$+0.0015x(\text{Pb})$

(1) Ag与主元素Cu、Pb、Zn具有线性消长关系，均属正相关($|\gamma_{\text{计}}| > \gamma_{\text{理}}$)(表4)，其相关密切程度以Cu—Ag、Pb—Ag元素对最高，即相关关系最显著，其次为Zn—Ag。这种相关性反映在热液成矿过程中Ag与典型的亲硫元素Cu、Pb、Zn地球化学行为的亲缘性。因此，矿石中Cu、Pb含量是Ag富集的标志元素。

(2) 由Cu—Ag、Pb—Ag的回归方程作出散点图和信度为0.01时的回归直线B和C(图4、图5)，明显存在Pb、Cu对Ag的所有散点均落在两条回归检验直线B和C之间，进一步证实Ag与Pb、Cu之间存在线性消长关系。

(3) Ag与主元素Sn相关系数 $|\gamma_{\text{Sn—Ag}}| < \gamma_{\text{理}}$ ，且为负值，表明Sn与Ag不相关，两者不存在线性关系，说明在热液成矿过程中，Sn往往与亲氧元素Nb、Ta、W、Be等元素共(伴)生，显示了Sn的强亲氧性。

由此说明，Ag具有强亲硫性和强亲氧性，反映在成矿作用中Ag与Cu、Pb、Zn密切共(伴)生。据该区主要硫化矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为+2.1‰，与花岗岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 较为吻合，表明硫主要来源于岩浆期后热液。方铅矿中的铅同位素均属正常铅即岩浆铅，表明Pb

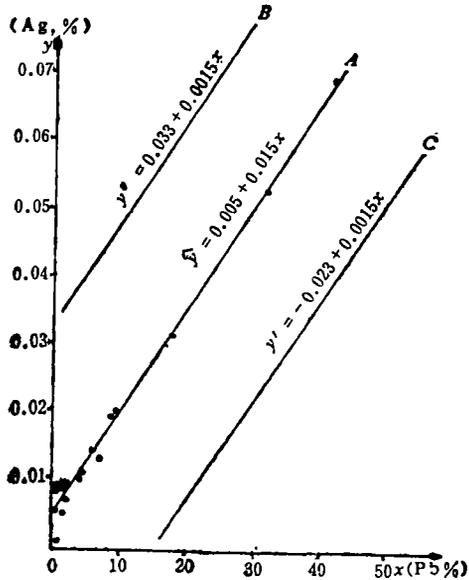


图 4 矿石中Pb-Ag散点图和回归检验直线B和C

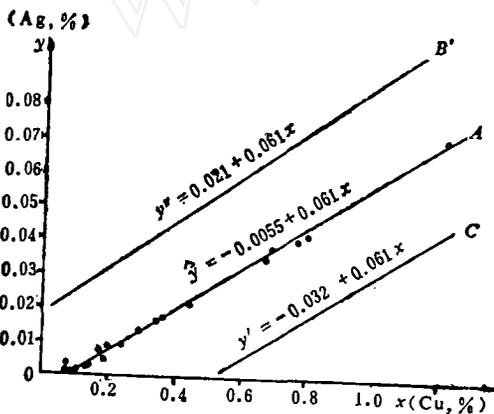


图 5 矿石中Cu-Ag散点图和回归检验直线B和C

主要来自癞子岭花岗岩体。由于Ag的强亲硫性，决定了Ag与Pb、Zn、Cu成矿物质来源的同源性，因此，癞子岭花岗岩体为Ag、Cu、Pb、Zn的含矿母岩。

2. 银在硫化物中的富集规律

(1) 由表5看出，5种硫化物中的Ag、Au含量平均值呈明显的反消长关系，且各自变化幅度均较大，其中方铅矿中Ag含量最高，可达5967克/吨，全区银平均值为2179.3克/吨，闪锌矿中Ag含量平均值254.2克/吨，比方铅矿低一个数量级，而黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿中Ag含量平均值又比闪锌矿低一个数量级。

(2) Ag在硫化物中的近似配分比(表6)说明：Ag在方铅矿中配分比最高(71.9%)，相当于闪锌矿的9倍、毒砂的60倍。这就充分显示了银的亲硫性大于亲铁性，也说明Ag在硫化物中的聚集能力由方铅矿—闪锌矿(黄铜矿)—黄铁矿—毒砂—磁黄铁矿递减的规律。而Au在硫化物中的含量顺序正好相反(表5)，依次为磁黄铁矿—毒砂—黄铁矿—闪锌矿—方铅矿。从而体现出Ag与Au两者地球化学行为的差异性：即Ag的强亲硫性和Au的强亲铁性。

上述说明，热液成矿作用中，在富硫、贫铁的中—弱碱性还原条件下所形成的方铅矿既是Ag的最主要携带者，又是其富集者，即最主要的载体矿物。而Au是在贫硫、富铁的中—弱酸性介质中，赋存于磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿中，因此，硫化

硫化物中Au、Ag含量及其Au/Ag比值

表 5

矿 物	样数 (个)	金含量 (克/吨)		银含量 (克/吨)		Au/Ag
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	
方铅矿	10	0.006~0.053	0.013	207~5967	3179.3	0.6×10^{-5}
闪锌矿	8	0.006~0.211	0.045	19.8~1513.1	254.2	0.2×10^{-3}
黄铁矿	7	0.107~0.407	0.294	2.8~111.8	42.87	0.7×10^{-2}
毒 砂	8	0.113~1.001	0.514	4.1~84.0	20.93	0.25×10^{-1}
磁黄铁矿	9	0.201~1.046	0.610	4.2~43.53	12.8	0.48×10^{-1}

分析单位：湖南省地质实验研究中心。

方铅矿、闪锌矿、毒砂中银的近似配分

表 6

矿 物	矿物重量 (%)	矿物中银含量 (克/吨)	矿物中银的配分比 (克/吨)	银在各矿物中的配分比 (%)
方铅矿	7.2	2179.3	156.9	71.9
闪锌矿	7.2	254.2	18.30	8.4
毒砂	13.3	20.93	2.78	1.3
其他及脉石矿物	72.3	55.67	40.25	18.4
总计	100		218.2	100

分析单位：同上表。

物中Au/Ag比值可作为成矿介质的指示剂，一般情况下：Au/Ag比值 $>0.1 \times 10^{-2}$ 时为中—弱酸性介质；Au/Ag比值 $<0.1 \times 10^{-2}$ 时为中—弱碱性介质。

量高低的微量元素标型，亦是成矿温度和成矿深度的指示剂。当Sb/Bi <1 时，方铅矿中银含量高(表3)、成矿深度大(或最近岩浆源)、成矿温度相对高；当Sb/Bi >1 时，方

找矿意义

目前，世界上银矿床有75%是属多金属矿床中的伴生银矿床。香花岭锡多金属矿床中伴生银的富集规律，对伴生银矿床的找矿或评价有重要的指导意义，也是多金属矿床成因研究的重要标志。

1. 伴生银矿床成矿的必要条件

(1) 燕山中晚期碱质花岗岩体是伴生银矿床的主要成矿物质来源，中温或中—低温热液成矿作用是银的重要成矿阶段。

(2) 远离含矿岩体外侧或浅部的有利构造部位，是伴生银矿床的有利空间条件。因此，我们预测香花岭矿区塘官铺矿段40线以西和新风矿段深部I号矿体，是伴生银矿床的有望地段。

(3) 银富集的矿物组合以富硫、贫铁的Ag—Pb—Zn—Cu组合类型为主，其中方铅矿是银的最主要载体矿物。因此，铅—锌(铜)矿石是银矿床资源开采和利用的主要对象，要提高银的回收率，必须强化铅、锌矿石的回收。

2. 伴生银富集的标型性

(1) 矿石中铅、铜元素含量是银富集的标型元素，可作为银矿化的找矿标志。

(2) 方铅矿中Sb/Bi比值是判断银含

不同成因铅锌多金属矿床方铅矿

中银含量平均值

表 7

编号	矿床类型	矿床名称	银含量 (克/吨)
1	层控型	广东凡口	771
2		乐昌杨柳塘	563
3		广东牛岩	260
4		广东石围子	600
5		广东高岩	610
6		湖南后江桥	87
7		湖南黄家坝	550
8		湖南太平	61
9		湖南清水桥	4
10		哈姆普(美)	500
11		布罗肯希尔(澳)	618
12		不列颠群岛	10
13	复控型	湖南香花岭	2179.3
14		东波榭山岭	2097
15		湖南铁渣市	4640
16		湖南方园	1400
17		湖南蛇形坪	2800
18	岩控型	湖南康家湾	1685
19		湖南水口山	935
20		湖南宝山西	1196
21		伍德河(美)	3683

资料来源：(1) 10、11、12、21矿床引自宋学信：《岩矿测试》，1982，第3期；

(2) 13矿床据本文；

(3) 其余引自“六五”攻关科研项目：《湖南粤北铅锌矿床成矿条件及找矿方向研究报告》，1985年10月。

铅矿中银含量相对低(表3)、成矿深度浅(或离岩浆源较远)、成矿温度相对低。

(3) 细粒方铅矿银含量比粗粒方铅矿高(表3), 因此, 方铅矿的粒级大小则是判别银相对含量的粒度标型。

3. 硫化物中Au/Ag比值是成矿介质的标志

一般情况下, Au/Ag比值 $>0.1 \times 10^{-2}$ 时, 标志中一弱酸性介质; Au/Ag比值 $<0.1 \times 10^{-2}$ 时, 标志中一弱碱性介质。

4. 方铅矿中银含量可作为铅锌多金属

矿床成因的重要标志之一

综合国内外铅锌多金属矿床方铅矿中的伴生银含量, 明显反映了与矿床成因的密切关系(表7)。与岩浆源有关的岩控型、复控型矿床的方铅矿中银含量高(1000克/吨以上); 而层控型(沉积—热卤水改造、沉积—变质热液改造)或沉积型矿床的方铅矿中银含量低(1000克/吨以下)。

本文经张振儒教授、吴延之教授审阅, 参加本项工作的还有地82级毕业生, 在此一并致谢!

The Enrichment Regularity and Exploration Significance
of the Silver Associated with the Xianghualing
Sn-bearing Multimetallic Deposit, Hunan
Lou Xiangchang Wang Zengrun Luo Xiangguo

The silver associated with the Xianghualing Sn-bearing multimetallic deposit in Hunan Province has been investigated, especially in following aspects: the time-space distribution, mineral association, and correlation and geochemical behaviours of elements. The enrichment regularity of the silver, the geological conditions for exploration or prognostication of such associated silver deposits and their typomorphic characteristics are also expounded.

四川省广汉市速记秘书学校函授部招生

为迎接国家公务员制度的颁行及招聘干部之需, 本校特开设下列课程:

速记比汉字书写快五、六倍, 学会速记能为您提高工作和学习效率。**秘书学**课程传授文书、秘书、机关工作方法、技巧(信息处理、调查研究、会务组织、公文写作、计划、统计、辅佐领导决策等)。**行政应用文写作**讲授近两百种应用文的写作技法、要领, 如合同、诉状、报告、广告、记录、贺电、祝辞、启事、书信、简报。**实用效率学**主要讲述快速记忆的24种方法, 翻译与整理10法、有效利用时间12法、科学阅读20法、竞争中成才10法等两百余种高效率的方法。我校从即日起四个专业面向全国常年招生, 每天都在办理入学手续从不间断。**速记科学**杂费18元, **秘书科**20元, **应用文写作科**22元, **实用效率学科**24元, 每科均备有磁带配合教学。报四科只交76元。报名者请写明姓名、地址、专业、年龄、文化程度、籍贯等, 每科交照片两张, 收款后当日寄发教材和收据。汇款一月后, 学员未收到书籍, 请来函询问, 我校负责查复并追补。

本校负责批改作业, 解答疑难, 每门课程学制半年, 不合格者免费再读。如索取简章, 另寄二角邮票。我们对读者来信一贯坚持有问必答, 来信必复的原则。

我校系近几年来西南地区最大的一所速记、秘书、写作的中等专业学校, 成绩合格, 颁发相当于中专水准的(毕业)业证书。作为晋级、晋升的参考, 也可作为向用人单位推荐或录用的依据。来信和汇款请寄“四川广汉师范学校内广汉速记秘书学校收”。

本校常年法律顾问: 主任律师李宏 律师: 熊国庆