

# 会泽铅锌矿床中自然锑的发现及伴生元素的分布特征<sup>\*</sup>

李朝阳<sup>1</sup>, 刘玉平<sup>1</sup>, 张乾<sup>1</sup>, 皮道会<sup>1</sup>, 张文兰<sup>2</sup>, 陈进<sup>3</sup>

(1 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093; 3 云南会泽铅锌矿, 云南 会泽 654211)

**摘要** 文章对会泽铅锌矿床的主要矿体进行了系统观察、采样, 对其矿石进行了岩矿鉴定、化学分析(包括部分单矿物)和电子探针分析, 并对其成矿作用做了探讨。首次在矿石中发现了自然锑, 初步查明整个矿床中 Ag, Cd, Ge, Cu, Sb 等伴生元素的平均含量( $w_B/10^{-6}$ )分别为 121, 77, 660, 99, 62, 10, 203, 78 和 169, 87, 认为它们是晚成矿阶段形成的。

**关键词** 地球化学; 自然锑; Ag, Cd, Ge 和 Sb 等伴生元素; 会泽铅锌矿

中图分类号: P618.66

文献标识码: A

会泽铅锌矿床位于云南省会泽县者海镇, 包括矿山厂、麒麟厂和大水沟 3 个矿段, 是云南省目前铅锌品位最高的大型铅锌矿床, 其金属储量在 250 万吨以上。该矿床早在汉代就已被发现, 一直至清朝主要都是作为银矿进行开采。1949 年后, 矿山在开采铅锌的同时, 重点从该矿床的氧化矿石中提取当时国家急需的半导体原料锗<sup>①</sup>。会泽铅锌矿一直是一个中型的铅锌矿床, 从 1992 年开始, 由于深部找矿的突破, 相继在麒麟厂矿段的深部发现了 6 号和 8 号矿体, 在其西南部的大水井找到了 10 号矿体, 在矿山厂深部发现了 1 号矿体, 从而使矿床储量达到了大型乃至超大型规模。该矿床的显著特点是矿石品位高、矿化深度大, 其矿石平均品位大于 30%, 垂直矿化深度在 1 000 m 以上。

对该矿床的研究由来已久, 主要是研究与铅锌矿有关的问题。周德忠等<sup>②</sup>认为矿床与深部岩浆活动有关; 孙志伟运用热释汞法于 1992 年发现了 6 号矿体(孙志伟, 1998); 柳贺昌等(1999)认为该矿床是多元提供矿质、两期改造的沉积-改造-后成矿床; 高德荣(2000)总结出矿床受地层、岩性和构造 3 因素控制; 陈进等(2001)强调了构造和岩性控矿, 同时还探索了 9 块矿石和闪锌矿等 5 个单矿物中的 Ag 与

Ge, Cd 等的含量; 韩润生等(2001)系统讨论了矿床的成矿规律和隐伏矿预测; 廖文<sup>①</sup>在综合前人工作的基础上, 提出会泽铅锌矿是一个壳幔混源型矿床, 等等。他们都侧重于研究矿床中铅锌的成矿特征, 对矿床中的有用伴生元素, 只研究了其中 Ag 的含量和赋存状态(杨国高等, 1992; 李虎杰等, 1999; 王静纯, 2001)。本文首次系统地研究了 Cd, Ge 等分散元素及其他伴生元素, 并发现了自然锑。

## 1 矿床地质简介

会泽铅锌矿床位于扬子地块西缘滇黔褶皱区滇东北褶皱束矿山厂—金牛厂背斜北东端的矿山厂、麒麟厂逆断层上盘的石炭系下统摆佐组的白云岩中(图 1), 受地层和构造的双重控制。区内地层有泥盆系上统、石炭系和二叠系。矿山厂、麒麟厂和银厂坡 3 条北东向逆断层控制了整个矿区的构造形态, 并形成叠瓦状构造(图 1)。矿床呈似层状、透镜状、囊状、顺层产出, 连续性好(方华等, 2000)。围岩蚀变比较简单, 可见碳酸盐化、黄铁矿化、硅化和绿泥石化。以块状矿石为主, Zn, Pb 品位很高,  $Zn \gg Pb$ , Zn+Pb 平均含量在 30% 以上, 最高可达 60%; 伴生元素有

<sup>\*</sup> 云南省省院省校科技合作项目(2000YK-04)和南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室开放基金(09-03-05)共同资助

第一作者简介 李朝阳, 男, 1938 年生, 研究员, 主要从事矿床地球化学研究。

收稿日期 2003-12-01; 改回日期 2004-07-15。

① 廖文, 2002. 矿山厂-麒麟厂铅锌矿床成因探讨. (工作报告).

② 周德忠, 黄朝环, 1942. 云南会泽矿山厂铅锌矿. (内部资料).

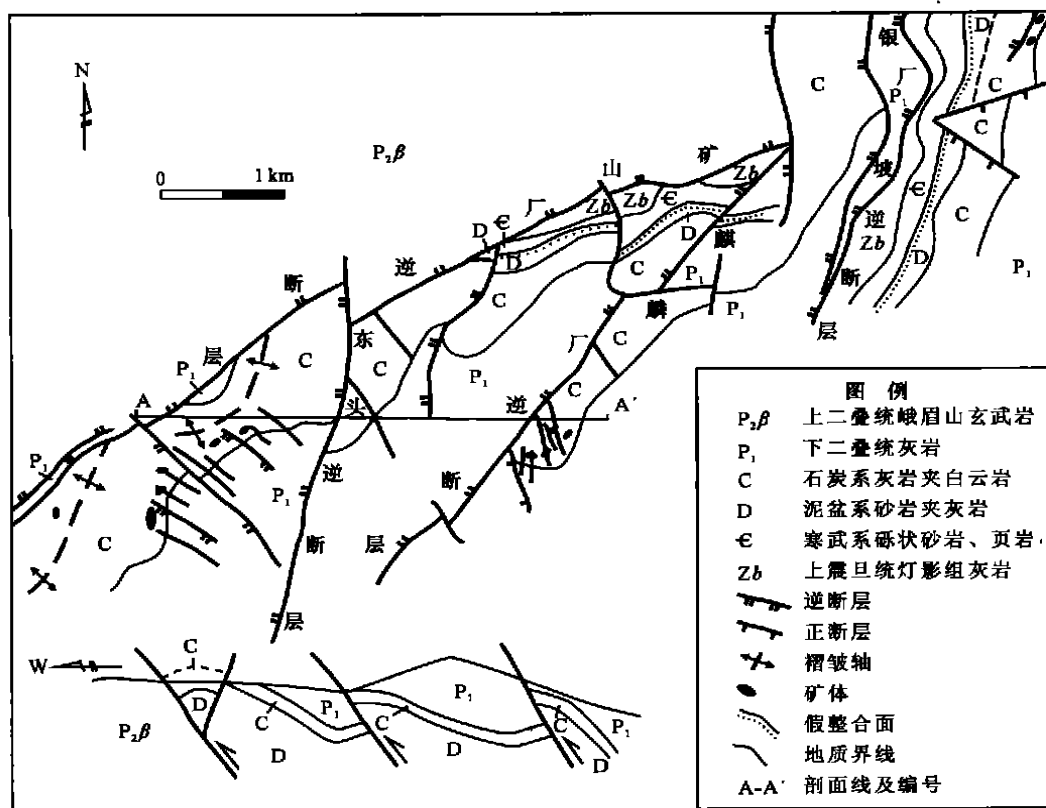


图 1 会泽铅锌矿床地质简图(据孙志伟, 1998)

Fig. 1 Geological map of the Huize Pb-Zn ore deposit(after Sun, 1998)

Ag, Cd, Ge, Cu, Sb, As, S, Ga 等, 其中 Ag, Cd, Ge, S 等可综合利用。

## 2 矿石的矿物组成与自然锑的发现

会泽铅锌矿目前正在开发和勘查的主要矿体有 1、6、10 和 8 号 4 个矿体及矿山厂矿段的上部氧化矿。4 个矿体全为原生的金属硫化物矿石, 其矿物成分基本相似。金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿及少量的黄铜矿、块硫锑铅矿、车轮矿、螺状硫银矿、自然锑、深红银矿、毒砂(?)等。闪锌矿又可分为两种: 一种是含铁正常的闪锌矿, 另一种是含铁量高的铁闪锌矿。脉石矿物主要为方解石及少量白云石。自然锑、螺状硫银矿和块硫锑铅矿系本次工作中首次发现(表 1), 其简要特征如下:

**自然锑(Sb)** 见于方铅矿中, 呈不规则的球粒状(照片 1、2)和边缘不平整的四边形状(照片 3), 分散分布。矿物粒度一般为几个 μm, 本次见到的最大颗粒为 30×40 μm。反射色(乳)白色, 磨光性良好, 反射面光滑, 反射率高于方铅矿并明显较亮, 弱非均

质性, 硬度略小于方铅矿。其成分见表 1。

自然锑比较少见, 王璞等主编的《系统矿物学》(1984)中所列亦都是国外的例子。国内只有向茂木(1985)在贵州三都某地、邹今湛(1991)在湖南新宁回水湾锑矿和彭渤等(2003)在湘西沃溪钨锡金矿先后发现有自然锑, 但都产于锑高度富集的锑矿床中的石英脉或辉锑矿中。本次发现的自然锑却是赋存在铅锌矿床中的方铅矿内, 这在国内应是首次发现, 今后还应进一步研究。众所周知, 铅锌矿是在富硫环境下形成的, 而自然锑却是贫硫环境的低温条件下的产物, 因此, 它不可能是与方铅矿、闪锌矿同时形成的, 应是铅锌矿成矿以后叠加的, 或是方铅矿结晶分异的产物。

**螺状硫银矿[(Ag Cu)<sub>2</sub>S]** 暗灰色, 双反射色明显, 一个方向的反射率略低于方铅矿, 另一个方向的反射率与方铅矿接近, 具较明显的非均质性, 无内反射。螺状硫银矿散布在晚期方铅矿的单矿物中, 形态复杂, 多为他形不规则粒状、扁平椭圆状和短细脉状等。矿物颗粒细小, 通常为 2~6 μm(照片 1、4)。常含有 Cu 和 Sb, 其电子探针分析结果见表 1。

表1 矿石中某些矿物的化学组成

Table 1 Chemical composition of some minerals in ores

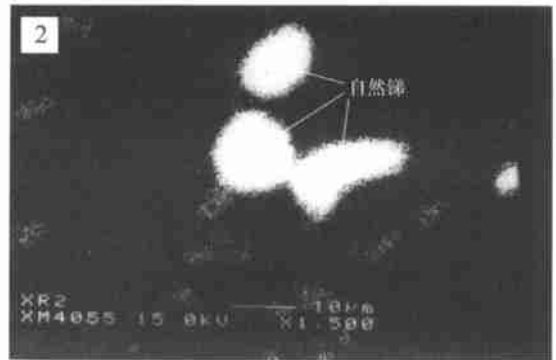
序号	样号	w <sub>B</sub> /%										合计	分子式	矿物名称	备注
		Fe	Cu	Zn	Ge	S	Ag	Ga	Sb	Pb	Cd				
1	HZ1001	0.043	—	0.046	—	0.089	0.028	0.015	99.514	0.309	—	100.044	Sb	自然锑	2个点平均
2	HZ1022	—	0.161	0.013	0.030	0.068	—	0.004	100.333	0.336	—	100.945	Sb	自然锑	3个点平均
3	HZ1015	—	—	0.156	—	17.749	54.453	0.007	21.071	7.385	—	100.821	Ag <sub>3</sub> Sb <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	深红银矿	1个点
4	HZ1015	—	0.190	0.242	—	17.586	55.827	0.003	20.385	—	—	94.233	Ag <sub>3</sub> Sb <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	深红银矿	1个点
5	HZ1018	0.034	0.215	0.802	0.005	17.822	57.341	0.013	23.347	0.560	—	100.139	Ag <sub>3</sub> Sb <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	深红银矿	2个点平均
6	HZ1001	0.018	14.548	0.035	—	16.857	54.962	0.004	11.257	2.083	—	99.764	(Ag, Cu) <sub>2</sub> S	螺旋硫银矿	4个点平均
7	HZ1001	0.007	13.389	—	—	20.018	0.171	0.006	25.43	40.542	—	99.563	2Pb <sub>3</sub> CuS <sub>2</sub> ·Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	车轮矿	3个点平均
8	HZ1015	0.040	0.032	0.057	0.005	18.442	—	0.009	24.659	56.435	0.154	99.833	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	块硫锑铅矿	2个点平均
9	HZ1018	0.085	0.089	0.017	—	18.807	0.317	0.036	25.249	54.683	0.042	99.325	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	块硫锑铅矿	4个点平均
10	HZ1018	0.039	—	0.074	0.003	18.028	0.038	0.031	22.302	57.221	0.001	97.737	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	块硫锑铅矿	1个点
11	HZ1022	0.018	—	0.084	0.028	18.379	—	0.048	25.005	56.264	0.103	99.929	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	块硫锑铅矿	2个点平均
12	HZ1001	5.922	—	60.451	—	33.651	—	0.179	—	—	0.142	100.345	(Zn <sub>0.9</sub> Fe <sub>0.1</sub> )S	铁闪锌矿	1个点
13	HZ1015	3.37	0.017	62.377	—	33.253	0.026	0.199	0.03	0.153	0.005	99.430	(Zn <sub>0.93</sub> Fe <sub>0.07</sub> )S	铁闪锌矿	2个点平均
14	HZ1015	4.762	0.042	49.045	—	31.140	—	0.193	—	0.154	0.135	85.471	(Zn <sub>0.88</sub> Fe <sub>0.12</sub> )S	铁闪锌矿	1个点

样品产出位置: 1—VI号矿体 1571 水平 15 分层南端; 2—VI号矿体 1631 水平 14 中段 38 穿脉北端 1 m 处; 3—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 17 m 处; 4—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 17 m 处; 5—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 15 m 处; 6—VI号矿体 1571 水平 15 分层南端; 7—VI号矿体 1571 水平 15 分层南端; 8—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 17 m 处; 9—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 15 m 处; 10—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 15 m 处; 11—VI号矿体 1631 水平 14 中段 38 穿脉北端 1 m 处; 12—VI号矿体 1571 水平 15 分层南端; 13—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 17 m 处; 14—VI号矿体 1571 水平 16 分层 10 号沿脉 17 m 处。测试仪器: JCVX-8800 电子探针; 测试单位: 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室电子探针室; 测试者: 张文兰。



照片1 方铅矿中自然锑和螺旋硫银矿  
反射光 样品号 HZ1022

Photo 1 Antimony and acanthite in galena  
reflected light, Sample No. HZ1022



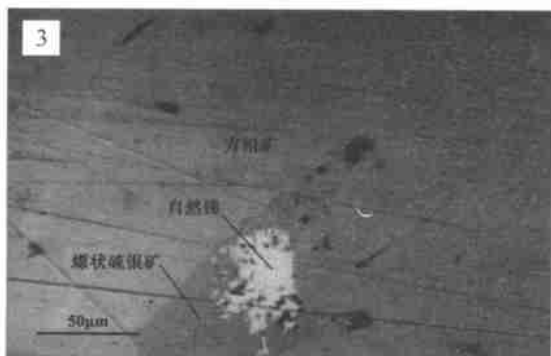
照片2 方铅矿中自然锑的电子探针背散射图  
样品号 HZ1022

Photo 2 EPMA back-scattering pattern of antimony  
in galena, Sample No. HZ1022

块硫锑铅矿( $Pb_5Sb_4S_{11}$ ) 暗灰色, 有时微带暗绿色, 反射率略低于方铅矿, 双反射清楚, 具非均质性。在方铅矿中呈分散状分布, 为滚圆粒状和短脉状(照片5), 在显微镜下与螺旋硫银矿很相似, 只有据电子探针分析才能区别。其电子探针分析结果见表1。

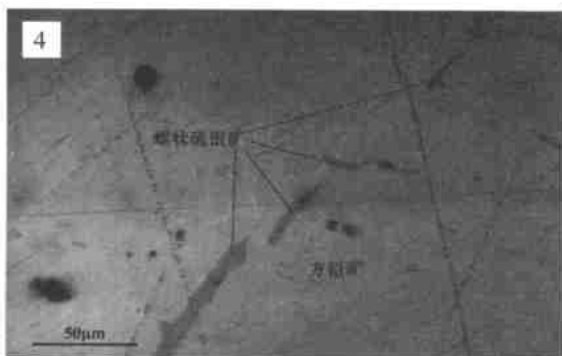
据手标本和镜下观察, 该矿床的形成具有多期、多阶段特征, 可大致分为4期。第一期为方铅矿

(铁)闪锌矿-黄铁矿-方解石矿化, 特征是矿物结晶粗大、构造变形-破碎普遍、形成温度较高(根据闪锌矿以铁闪锌矿为主, 其中产有呈“碎屑状”、蠕虫状分布的黄铜矿固溶体, 推测其形成温度在250~300℃之间); 第二期方铅矿-闪锌矿-黄铁矿矿化, 交代、穿插第一期矿化, 其相互之间亦存在穿插关系, 显示该期矿化为多个世代的产物; 第三期分布于方铅矿中的单一黄铜矿细脉和产于闪锌矿中的方铅矿-黄



照片 3 方铅矿中的自然锑和螺状硫银矿  
反射光 样品号 HZ1001

Photo 3 Antimony and acanthite in galena  
reflected light, Sample No. HZ1001



照片 4 方铅矿中的螺状硫银矿 反射光 样品号 HZ1001

Photo 4 Acanthite in galena, reflect lighted  
Sample No. HZ1001



照片 5 方铅矿中块硫锑铅矿的电子探针  
背散射图 样品号 HZ1018

Photo 5 EPMA back-scattering pattern of boulangerite  
in galena Sample No. HZ1018

铁矿-螺状硫银矿-黄铜矿细脉;第四期为具有晶洞特征的团块状纯白色方解石,系矿化期后产物。自然锑大量出现在晚期方铅矿中的现象显示,第二期及其以后的成矿作用的成矿温度可能要比第一期的成矿温度低,这暗示会泽铅锌矿在成矿过程中,其成矿温度具有由高向低的变化现象,显示该矿床不应是某个单一的成矿温度。

### 3 矿床中主要矿物的 Ag 含量

从表 2 可以看出,在整个矿床中, Ag 主要集中在方铅矿内,其平均含量( $w_B$ ,下同)最高,达  $208.894 \times 10^{-6}$ ,同时,其在闪锌矿、黄铁矿和方解石中亦有分布。Cd 主要赋存在闪锌矿中(因方铅矿、黄铁矿和方解石的单矿物未分析 Cd)。按矿体来看,1 号矿体的方铅矿(8 个样)平均含 Ag  $237.28 \times 10^{-6}$ ,闪锌矿(8 个样)平均含 Ag  $60.99 \times 10^{-6}$ ;6 号矿体的方铅矿(9 个样)平均含 Ag  $197.46 \times 10^{-6}$ ,闪锌矿(19 个样)含 Ag  $64.89 \times 10^{-6}$ ,黄铁矿(5 个样)含 Ag  $46.94 \times 10^{-6}$ ,方解石(2 个样)含 Ag  $15.6 \times 10^{-6}$ ;10 号矿体的方铅矿(1 个样)平均含 Ag  $84.8 \times 10^{-6}$ ,闪锌矿(5 个样)含 Ag  $55.44 \times 10^{-6}$ ,黄铁矿(3 个样)含 Ag  $10.67 \times 10^{-6}$ ,方解石(2 个样)含 Ag  $14.20 \times 10^{-6}$ 。从这一结果来看,3 个矿体内闪锌矿的含 Ag 量基本上相同,为  $55 \times 10^{-6} \sim 65 \times 10^{-6}$ ,但方铅矿的含 Ag 情况就差别较大,1、6 号矿体的方铅矿含 Ag 较高,而 10 号矿体的方铅矿含 Ag 量就明显低了。

### 4 矿石中 Pb, Zn 与 Ag, Cd, Ge 的相关性

应用等离子质谱仪(ICP-MS)分析了 98 个富矿石样品(表 3),由于此仪器只对微量元素效果好,而对 Pb, Zn, Ag 的分析不够准确,故从中取出 44 个样品又进行了 Pb, Zn, Ag 的化学分析(表 4)。然后,用这些分析数据分别对不同矿体作了 Pb, Zn 与 Ag, Cd, Ge 的相关关系的图解(图 2)。发现在该矿床的不同矿体中, Pb, Zn 都与 Ag 有一定的相关性,且 Pb 与 Ag 的相关性较好,而 Zn 与 Ag 的相关性就差一些。但这种关系在不同矿体中差别还是较大的,如

表2 矿床中主要单矿物的化学分析结果( $w_B/\%$ )Table 2 Chemical analyses of Ag and Cd in main individual minerals ( $w_B/\%$ )

元素	闪锌矿		方铅矿		黄铁矿		方解石	
	范围	平均值(32)	范围	平均值(18)	范围	平均值(8)	范围	平均值(4)
S	26.83~32.42	29.519	13.19~18.76	15.422	45.90~54.54	51.574		
Zn	54.65~64.21	60.56						
Pb			68.05~86.57	82.823				
Fe	2.46~11.45	7.742			44.26~51.03	47.255		
Cd	0.08~0.16	0.107	未分析	未分析	未分析	未分析	未分析	未分析
Ag*	15~220.5	62.438	18.0~676.0	208.894	10.3~73.1	33.338	9.1~22.1	14.9

测试方法、仪器及精度: S, Pb, Zn, Fe 为常规湿化学分析, 精度一般优于2%; Ag, Cd 为 AAS 分析, 仪器型号 PE-5100, 精度一般优于5%; 测试单位: 中国科学院地球化学研究所; 测试者: 彭少松。()内为样品数。\*单位为 $10^{-6}$ 。

表3 6号、1号和10号矿体伴生元素含量( $w_B/10^{-6}$ )Table 3 Contents and ranges of associated elements in No. 6 No. 1 and No. 10 orebodies ( $w_B/10^{-6}$ )

矿体	Cd	Ge	Ga	In	Tl	Ag	Cu	Sb
6号矿体变化范围	30.99~1685.552	1.489~223.468	0.495~7.738	0.024~3.819	9.005~304.74	7.38~309.379	5.011~2690.73	23.595~660.944
6号矿体平均(42)	687.06	69.376	1.695	1.15	44.1	82.994	271.56	204.55
1号矿体变化范围	5.653~1469.989	1.661~203.67	0.637~35.933	0.014~1.634	1.035~70.897	0.576~102.875	22.265~609.354	23.435~550.222
1号矿体平均(29)	704.475	66.763	3.222	0.33	26.2	27.312	177.34	185.08
10号矿体变化范围	2.552~1255.972	0.52~255.739	0.574~5.067	0.01~0.96	0.345~53.0	2.011~160.04	4.462~537.969	7.581~316.362
10号矿体平均(27)	573.471	45.753	2.098	0.22	16.6	40.196	126.74	99.598
矿床总的变化范围	2.552~1685.552	0.52~255.739	0.495~35.933	0.01~3.819	0.345~304.74	0.576~309.379	4.462~2690.73	7.581~660.944
矿床总平均值(98)	660.993	62.095	2.258	0.648	61.219	54.725	203.778	169.874
地壳丰度值*	0.2	1.5	15	0.1	0.45	0.07	55	0.2
富集倍数	3305	41	0.15	6	136	782	3.7	849

测试仪器型号及精度: 型号 Finnigan MAT-Element, 精度一般优于5%; 测试单位: 中国科学院地球化学研究所 ICP-MS 实验室; 测试者: 冯家毅、漆亮等。()内为样品数。\*据刘英俊等, 1984。

表4 矿石中 Pb, Zn, Ag 化学分析结果

Table 4 Chemical analyses of Pb, Zn and Ag in ores from the Huize Pb-Zn deposit

矿体	$w_{Pb}/\%$	$w_{Zn}/\%$	$w_{Ag}/10^{-6}$
6号矿体变化范围	2.04~16.52	9.45~54.55	24.0~282
6号矿体平均(20)	12.175	38.716	140.19
1号矿体变化范围	1.12~24.71	0.026~55.93	29.4~198
1号矿体平均(13)	13.56	44.006	124.346
10号矿体变化范围	0.57~19.10	10.74~66.75	13.4~192
10号矿体平均(11)	7.012	43.449	85.245
矿床总的变化范围	0.57~24.71	0.026~66.75	13.4~282.0
矿床总平均值(44)	11.293	41.462	121.773

测试方法、仪器及精度: Pb, Zn 为常规湿化学分析, 精度一般优于2%; Ag 为 AAS 分析, 仪器型号 PE-5100, 精度一般优于5%; 测试单位: 中国科学院地球化学研究所; 测试者: 彭少松、凌宏文。()内为样品数。

6、10、1号3个矿体中, Pb 与 Ag 的相关系数分别为  $R^2=0.6657$ 、 $R^2=0.5129$  和  $R^2=0.3191$ , Zn 与 Ag 的相关系数分别为  $R^2=0.2318$ 、 $R^2=0.1545$  和  $R^2=0.4182$ 。显然, 6、10号矿体中 Pb 与 Ag 的关系比较密切, 而在1号矿体中却是 Zn 与 Ag 有密切的关系。Zn 和 Cd 的相关关系也有类似情况, 6和1号矿体中, Zn 和 Cd 的关系比较密切, 其相关系数  $R^2$  分别为 0.8096 和 0.5965, 而在10号矿体中, Zn 与 Cd 的关系就很差,  $R^2=0.1156$ 。在6、10、1号3个矿体中, Zn 和 Ge 有相似的弱相关关系, 其相关系数分别为 0.4224、0.3840 和 0.3388。为什么会上述关系, 其原因可能是: ① Ag, Cd, Ge, Cu, Sb 等伴生元素在矿石中分布不均匀; ② 据岩矿鉴定获知, Pb 和 Zn 是多期成矿作用的产物, 第一期方铅矿基本上不含

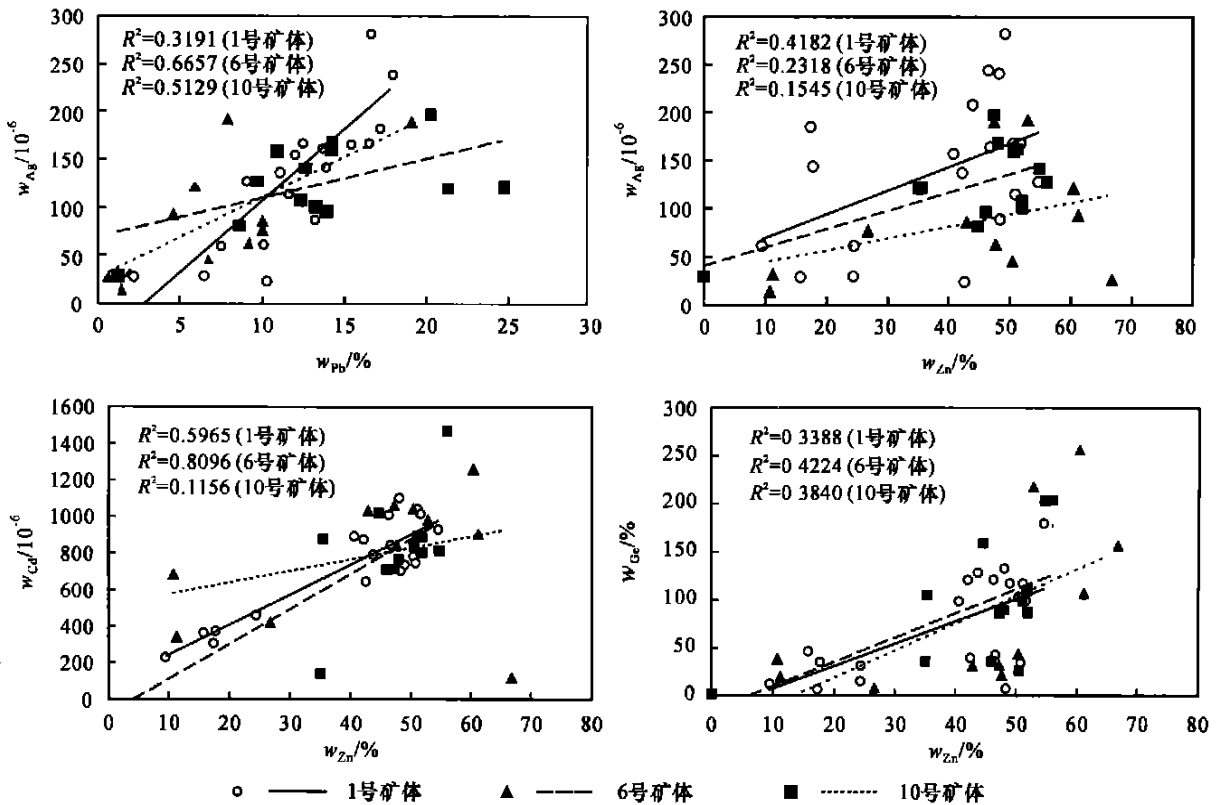


图 2 不同矿体中 Pb, Zn 与 Ag, Cd, Ge 的相关关系图

Fig. 2 Correlogram between Pb, Zn and Ag, Cd, Ge in different orebodies

Ag, Ag 和 Sb 主要分布在第二期方铅矿中; ③ Cu 在成矿的第一期、第二期和第三期都有产出, 第一期呈固熔体态产于闪锌矿中, 第二期(未细分)呈黄铜矿细脉产于方铅矿和闪锌矿中, 第三期呈方铅矿-黄铁矿-黄铜矿脉穿插于闪锌矿中; ④ Ge 在各个矿体中的富集比较均匀, 且相对与 Zn 的关系比较密切, 但这种均匀分布的特点, 是否暗示 Ge 在原生矿石中形成独立矿物的几率较小, 而且, 在本次工作中也未找到 Ge 的独立矿物。

与此同时, 还对全矿床不同品位矿石中的 Pb, Zn 与 Ag, Cd, Ge 分别作了相关分析(见图 3), 结果是: Pb 与 Ag 的关系更密切, 其相关系数  $R^2 = 0.7103$ , Pb 与 Cd 的相关性稍微差一些,  $R^2 = 0.3526$ , 而 Pb 与 Ge 的相关性更差, 相关系数仅为 0.1204; Zn 与 Ag, Cd, Ge 都有相关性, 其中 Zn 与 Cd 的相关性最好, 相关系数  $R^2 = 0.7256$ , Zn 与 Ge 的相关性次之,  $R^2 = 0.5469$ , 而 Zn 与 Ag 的相关性相对差一些,  $R^2 = 0.3979$ 。

从图 2 和图 3 可以看到这样一个事实, 图 3 中 Pb, Zn 与 Ag, Cd, Ge 的相关系数和图 2 有些差别, 这种差别是怎样造成的? 笔者在进行综合整理时, 图 2 中的数据是取自 6、1 和 10 号 3 个矿体富矿石的分析结果, 而图 3 是根据整个矿床各种品位矿石的分析结果作成的, 包括高品位、中品位和低品位矿石的分析数据(其中有一部分是会泽铅锌矿矿方的资料)。如前所述, 会泽铅锌矿床中的 Pb, Zn 等主成矿元素是多期、多阶段成矿作用的产物, Ag, Cd, Ge, Sb, Cu 等伴生元素只是与第一期以后的某一个或某几个成矿阶段有关。一般来说, 高品位矿石其叠加成矿作用的次数相对要多一些, 而品位低的贫矿石其叠加成矿作用的次数相对少一些。因此, 笔者推测, 伴生元素的矿化主要形成于第一期矿化以后。这就导致了富矿石和整个矿床矿石的 Pb, Zn 与 Ag, Cd 等伴生元素相关性(系数)的差异, 同时也间接反映了会泽矿床成矿作用的多阶段性。

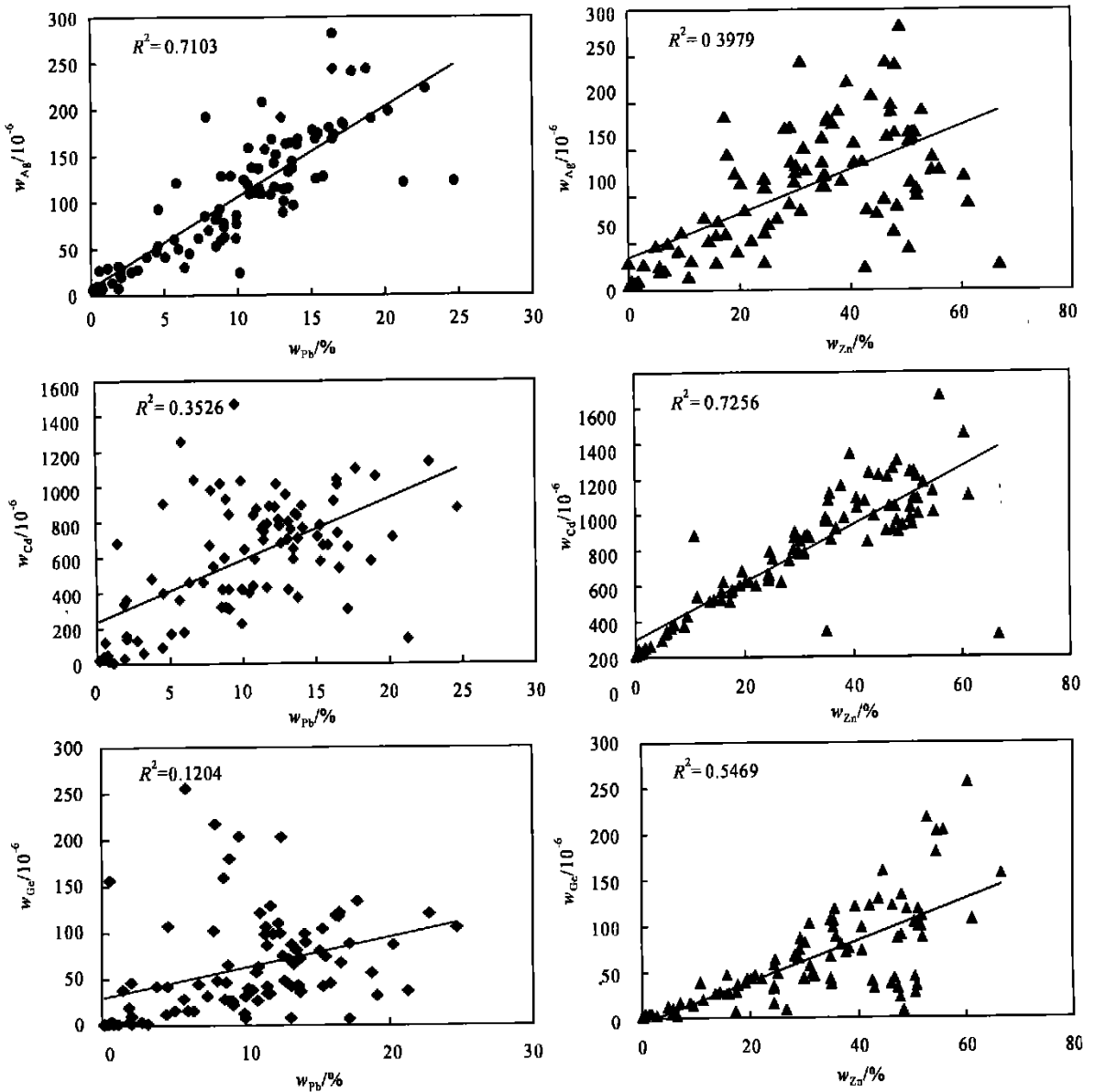


图3 会泽铅锌矿床中Pb和Zn分别与Ag、Cd、Ge的相关关系图

Fig. 3 Correlogram of Pb and Zn to Ag, Cd and Ge respectively in the Huize Pb-Zn deposit

## 5 Ag, Cd, Ge 等伴生元素的分布规律

从表3可以清楚地看出,矿床中Cd、Ge、In、Tl、Ag、Cu、Sb等7个伴生元素发生了明显的富集,它们的富集倍数分别为3305.41、6.136、782.3、7和849倍,其中Cd、Sb、Ag和Tl的富集最为突出。按矿体来说,不同矿体中的伴生元素含量略有差别。①总体上,6号矿体的各种组分含量相对较高,而10号矿体相对低一点。②1号矿体中Cd、Ga的含量相对高一些,Ag的含量偏低。出乎意料的是,这3个矿体

Ag总的平均含量只有54.725 g/t。考虑到ICP-MS分析方法对Ag的分析有干扰,因此,挑选了其中44个矿石样品又进行了常规湿化学分析,结果,Ag的含量达到了121.773 g/t(表4),这一结果可能是符合实际情况的。③10号矿体Ag含量低的原因可能是,与6、1号矿体相比,其矿石中方铅矿的含量较低而黄铁矿的含量偏高。

## 6 结论

通过对会泽铅锌矿床中伴生元素存在形式和分

布规律的研究,一方面在中国铅锌矿床中首次发现了自然锑;另一方面初步查明了 Ag, Cd, Ge, Cu, Sb 等伴生元素的含量范围、分布规律以及它们与 Pb, Zn 两个主成矿元素的相关关系。同时,还在该矿床中发现了尚未见报道的螺状硫银矿、深红银矿与块硫锑铅矿等伴生矿物。提出会泽铅锌矿床是多阶段形成的,它至少有4个以上的成矿阶段(期),大部分伴生元素都是在第二成矿阶段及其以后叠加富集的。并推测在其成矿过程中,从早期到晚期,成矿温度具有由中温向低温演化的特点。

致谢 野外工作期间得到了会泽铅锌矿采选厂领导和地质同行的大力支持,同时也得到了中国科学院地球化学研究所夏勇副研究员与战新志研究员在工作安排和岩矿鉴定等方面的热忱帮助,在此表示衷心的感谢。

## References

- Chen J, Han R S, Gao D R, et al. 2001. Geological characteristics of Huize Pb-Zn deposit, Yunnan, and model of ore prospecting method [J]. *Geology Geochemistry*, 29(3): 124~129 (in Chinese with English abstract).
- Fang H, Yang J L, Wu D C, et al. 2000. Stable isotope characteristic and genesis discussion of Qilinchang Pb-Zn deposit [J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 9(1-2): 114~116 (in Chinese with English abstract).
- Gao D R. 2000. The ore-forming geological condition and the ore prospecting direction of Huize lead-zinc deposit [J]. *Journal of Kunming University of Technology*, 25(4): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Chen J, Li Y, et al. 2001. Ore-controlling tectonics and prognosis of concealed ores in Huize Pb-Zn deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(2): 265~269 (in Chinese with English abstract).
- Li H J, Yi F C and Tian X. 1999. The occurrence state and secondary changes of associated silver of the Qilinchang Pb-Zn deposit, Huize [J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 8(2): 109~112 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y J, Cao L M, Li Z L, et al. 1984. *Elements Geochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 283, 321, 332, 372, 379, 388, 394, 400 (in Chinese).
- Liu H C and Lin W D. 1999. Study on Pb-Zn-Ag ore deposit law in Northeast Yunnan [M]. Kunming: Yunnan University Press, 70~92 (in Chinese).
- Peng B, Chen G H and Adam Piestrzynski. 2003. Ore mineralogy of stibnite ore veins and its genetic implications for the W-Sb-Au ore deposit at Woxi, Western Hunan, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 23(1): 82~90 (in Chinese with English abstract).
- Sun Z W. 1998. Discover of buried orebody and its base and method of forecast of Qilinchang Pb-Zn deposit in Huize [J]. *Yunnan Geology*, 17(2): 159~167 (in Chinese).
- Wang J C. 2001. Technological mineralogy of Ag in the sulfide ore from Qilinchang Pb-Zn ore deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(3): 531~533 (in Chinese with English abstract).
- Wang P, Pan Z L and Weng L B. 1982. *Systematical mineralogy* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 194 (in Chinese).
- Xiang M M. 1985. First discover of antimony in Guizhou Province [J]. *Geological and Science and Technology Information of Guizhou*, (2): 37~38 (in Chinese).
- Yang G G and Li Q J. 1992. Study on occurrence of silver in primary lead-zinc ores from Qilinchang, Huize, Yunnan [J]. *Mining Geology*, 13(3): 212~218 (in Chinese with English abstract).
- Zou J Z. 1991. Discover of antimony from Huishui an Sb deposit in Hunan Province [J]. *Geological and Science and Technology Information of Hunan*, (3): 28~30 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 陈进, 韩润生, 高德荣, 等. 2001. 云南会泽铅锌矿床地质特征及找矿方法模式 [J]. *地质地球化学*, 29(3): 124~129.
- 方华, 杨继林, 吴代城, 等. 2000. 麒麟厂铅锌矿床稳定同位素特征及成因探讨 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 9(1-2): 114~116.
- 高德荣. 2000. 会泽铅锌矿床成矿地质条件及找矿方向 [J]. *昆明理工大学学报*, 25(4): 19~24.
- 韩润生, 陈进, 李元, 等. 2001. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及其隐伏矿预测 [J]. *矿物学报*, 21(2): 265~269.
- 李虎杰, 易发成, 田煦. 1999. 会泽麒麟厂铅锌矿伴生银赋存状态及次生变化 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 8(2): 109~112.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 70~92.
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 1984. *元素地球化学* [M]. 北京: 科学出版社, 283, 321, 332, 372, 379, 388, 394, 400.
- 彭渤, 陈广浩, Adam Piestrzynski. 2003. 湘西沃西钨锡金矿床辉锑矿脉矿物学特征及其矿床成因指示 [J]. *矿物学报*, 23(1): 82~90.
- 孙志伟. 1998. 会泽麒麟厂铅锌矿床隐伏矿体的发现及其预测的基础与方法 [J]. *云南地质*, 17(2): 159~167.
- 王静纯. 2001. 麒麟厂铅锌矿银的工艺矿物学研究 [J]. *矿物学报*, 21(3): 531~533.
- 王璞, 潘兆鲁, 翁玲宝. 1982. *系统矿物学* [M]. 北京: 地质出版社, 194.
- 向茂木. 1985. 我省首次发现自然锑 [J]. *贵州地质科技情报*, (2): 37~38.
- 杨国高, 李启津. 1992. 云南会泽麒麟厂原生铅锌矿石银的赋存状态 [J]. *矿山地质*, 13(3): 212~218.
- 邹今湛. 1991. 湖南回水湾锑矿发现自然锑 [J]. *湖南地质科技情报*, (3): 28~30.



## Discovery of antimony and distribution characteristics of associated elements in Huize Pb-Zn deposit

LI Chao-yang<sup>1</sup>, LIU Yu-ping<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, PI Dao-hui<sup>1</sup>, ZHANG Wen-lan<sup>2</sup> and CHEN Jin<sup>3</sup>

(1 Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Key State Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3 Huize Pb-Zn Mine of Yunnan, Huize 654211, Yunnan, China)

### Abstract

It has been held that the Huize Pb-Zn deposit contains comprehensive useful elements such as Ag, Cd and Ge. Nevertheless, the exact contents, modes of occurrence and distribution regularity of these elements, except for silver, are not clear. Based on systematic observation and sampling of the main orebody, the authors conducted rock and mineral identification, chemical analysis (including analysis of some individual minerals) and electron microprobe analysis of the ore rock, so as to understand characteristics of mineralization. Antimony was found for the first time in the ore. The mean contents of Ag, Cd, Ge, Cu, and Sb are  $121.77 \times 10^{-6}$ ,  $660.99 \times 10^{-6}$ ,  $62.10 \times 10^{-6}$ ,  $203.78 \times 10^{-6}$  and  $169.87 \times 10^{-6}$  respectively, and these associated elements were evidently formed at the late stage of mineralization. This ore deposit is a multistage hydrothermal deposit.

**Key words:** geochemistry; associated elements such as Ag, Cd, Ge, Sb; native antimony; Huize Pb-Zn deposit