

文章编号: 1009-3850(2008)04-0069-05

云南会泽铅锌矿床分散元素镉锗镓的富集规律

王 乾¹, 顾雪祥², 付绍洪³, 章 明¹, 李发源⁴

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059 2. 中国地质大学, 北京 100083 3. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002 4. 中国科学院 成都山地研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 本文利用电子探针和等离子质谱分析手段, 对会泽铅锌矿床矿物和矿石的分散元素镉锗镓进行了分析研究, 认为矿床中分散元素镉、锗、镓的赋存状态以类质同象形式存在。矿床以富集镉、锗为特征, 其中镉主要富集于闪锌矿之中, 锗和镓主要富集于方铅矿之中。

关键词: 铅锌矿床; 分散元素; 富集规律; 会泽

中图分类号: P595 文献标识码: A

1 地质概况

会泽矿床大地构造上位于康滇地轴东缘中南部安宁河深大断裂与甘洛-小江深大断裂之间, 甘洛-小江深大断裂的西侧。矿床位于云南省会泽县东北部, 距离县城约 60 km, 交通方便。该矿床为特大型铅锌矿床。

1.1 矿区地层

会泽铅锌矿床矿区地层较为简单, 出露地层包括: 下寒武统筇竹寺组碎屑岩; 泥盆系碎屑岩和白云岩; 石炭系白云岩和灰岩; 二叠系碎屑岩、灰岩和峨眉山玄武岩。

其中赋矿地层为下石炭统摆佐组 (C₁b) 白云岩。除银厂坡断层上盘和小黑青以东有寒武系筇竹寺组出露外, 基本缺失下古生代地层 (图 1)。

1.2 矿区构造及岩浆活动

矿区主要发育 NE 近 NS、NNW、NW 和近 EW 向 5 组断裂构造, 断裂构造具有多期活动的特点, 对矿体起着控矿、后期改造作用。其中 NE 构造带是矿区最主要的成矿控矿构造体系, 自 NW 向 SE 依

次由矿山厂、麒麟厂、银厂坡 3 条主逆断层组成叠瓦状构造。该组构造控制着矿山厂矿床、麒麟厂矿床、银厂坡矿床呈左行雁行状展布。

矿区岩浆活动主要为海西期区域上大面积的峨眉山玄武岩喷发, 矿区玄武岩具有岛弧拉斑玄武岩特征, 为地幔部分熔融产物^[1]。

1.3 矿床围岩蚀变和矿体产出特征

矿床的围岩蚀变类型比较简单, 主要为白云石化和黄铁矿化, 其次为方解石化、粘土化和硅化。矿体下盘蚀变较强烈, 上盘蚀变轻微或不发育, 属典型的“不对称性蚀变”。

会泽铅锌矿床主矿体沿走向长为 690 m, 倾斜延伸大于 1000 m, 垂直延伸达 1200 余米。多数矿体呈层状、似层状产出, 局部可见脉状、囊状、扁柱状、网脉状等矿体。矿体厚为 0.7~40 m, 矿体规模变化大。其中 8 号矿体规模最大, 铅+锌金属量约 100 万吨, 达中型矿床规模 (陈进等, 2001)。

1.4 矿石结构和构造特征

矿石结构主要有自形、半自形粒状结构、包含结构、固溶体分离结构、细脉状、网脉状结构和交代结

收稿日期: 2008-04-15 改回日期: 2008-06-04

作者简介: 王乾 (1962—) 男, 副教授, 博士生, 主要从事矿床地球化学和资源评价研究

资助项目: 中国科学院“百人计划”资助

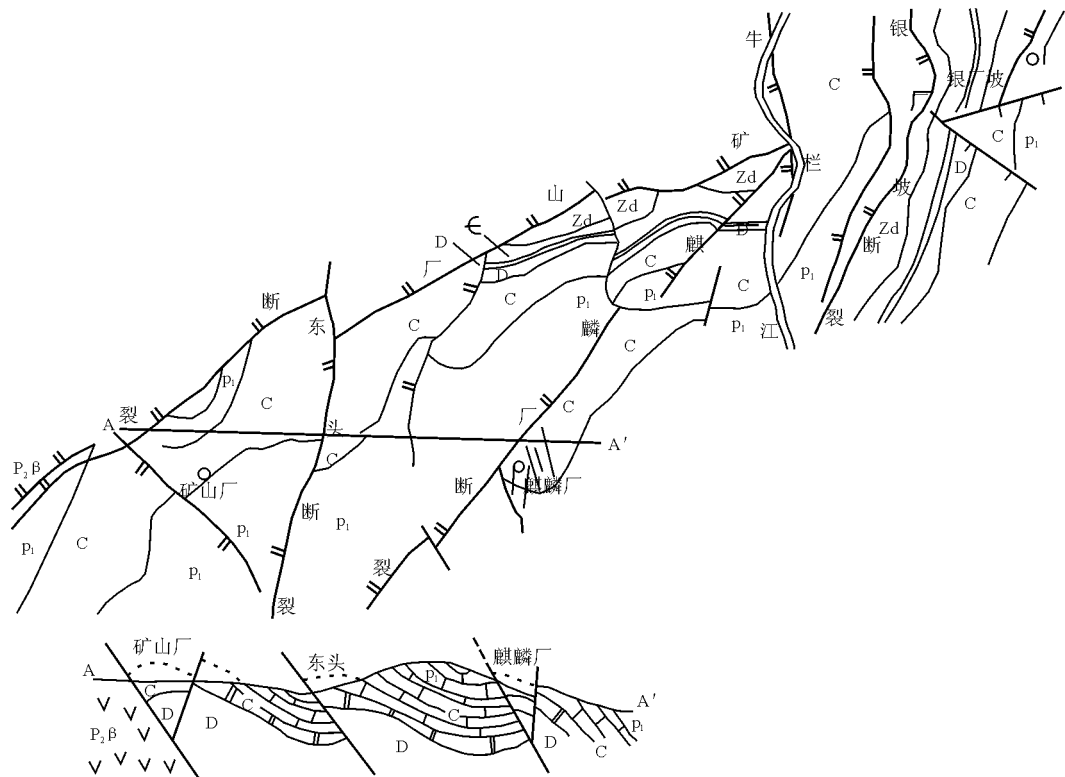


图 1 会泽铅锌矿床地质简图 (据付绍洪, 2004简化)

Fig 1 Simplified geological map of the Huize lead-zinc deposit Yunnan (modified from Fu Shaohong 2004)

构等; 常见矿石构造有块状构造、条带状构造、浸染状构造、脉状构造和层状似层状构造等。

1.5 矿石物质组分

矿床的矿物成分较为简单, 主要矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和方解石, 其它矿物成分包括毒砂、黄铜矿、辉铜矿、白云石、石英等 (表 1)。

表 1 会泽铅锌矿床矿物成分一览表

Table 1 Mineral compositions in the Huize lead-zinc deposit Yunnan

矿物种类	主要矿物	次要矿物	罕见矿物
矿石矿物	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿	毒砂、黄铜矿、辉铜矿、辉银矿、磁黄铁矿、灰硫锑铅矿、铜磁黄铁矿、辉锑银矿、针铅铋银矿、硫铋铜矿、针铅铋银矿、块硫砷铜矿、砷黝铜矿等	斜方砷铁矿、菱铁矿、红锌矿
脉石矿物	方解石	白云石、石英、绢云母、绿泥石	

2 分散元素富集规律

2.1 分散元素在矿物中的赋存状态

会泽铅锌矿床矿石矿物的电子探针分析数据列

于表 2。由表 2 可见, 闪锌矿中 Cd 的含量变化范围为 $(900 \sim 2900) \times 10^{-6}$, 而且几乎不含 Ge (仅 HZP6-11, HZ0 的 12 个样品含 Ge 分别为 100×10^{-6} 和 1200×10^{-6} , Ga 含量较低, 为 $(0 \sim 1600) \times 10^{-6}$; 方铅矿中 Cd 的含量为 $(0 \sim 2300) \times 10^{-6}$, Ge 具有明显富集现象, 含量在 $(200 \sim 2300) \times 10^{-6}$ 之间, Ga 的含量为 $(100 \sim 3400) \times 10^{-6}$ 。

值得注意的是, 会泽铅锌矿床硫化物除个别方铅矿和黄铁矿含微量的 As 外 (表 2), 其余基本不含 As。剔除 As 后分析各成矿元素间的关系, 以 11 个成矿元素为变量计算它们之间的相关系数, 在 99% 的置信度水平上, 获得各成矿元素的相关系数矩阵结果列于表 3。由表 3 可见, 会泽矿床中各成矿元素之间的相关性具有如下特征:

(1) Fe 与 Cd、Ge、Ga 呈负相关 (R 分别为 -0.36、-0.13、-0.29), 说明分散元素 Cd、Ge、Ga 分别以类质同象形式取代铁进入闪锌矿中, 由于铁的减少, 导致闪锌矿的颜色变浅;

(2) Cd 与 Zn、Pb 及 Ge、Ga 呈明显的正相关关系 (R 分别是 0.42、0.75、0.65), 说明 Cd 主要赋存在闪锌矿中, 而 Ge、Ga 主要赋存在方铅矿中;

(3) Zn 与 Ge、Ga 均呈负相关 (R 分别为

表 2 会泽铅锌矿床矿石矿物的元素电子探针分析 (w_B/%)

Table 2 Analytical data of the minerals and ores from the Huize lead-zinc deposit Yunnan by means of electron microprobe (w_B/%)

样品号	矿物	S	Fe	Zn	Pb	Cd	Ge	Ga	Co	Ni	As	Ag	Cu
HZ018	闪锌矿	32.57	0.04	67.04	0	0.29	0	0	0.06	0	0	0	0.04
HZP6-11	闪锌矿	33.82	0.18	65.66	0	0.12	0.01	0	0.03	0.06	0	0	0.13
HZ01	闪锌矿	34.02	0.15	65.07	0.13	0.17	0.12	0.12	0.01	0	0	0	0.2
HZ02	闪锌矿	33.67	4.02	62.08	0	0.18	0	0	0.04	0.01	0	0	0
2PHZ7-2	闪锌矿	32.3	2.4	64.78	0	0.1	0	0.04	0.07	0.1	0	0.05	0.15
2PHZ08	闪锌矿	33	0.57	66.18	0.04	0.07	0	0.03	0.02	0.02	0	0.07	0
2PHZ08	闪锌矿	32.31	0.05	67.23	0	0.1	0	0.16	0.05	0	0	0.1	0.04
2PHZ08	闪锌矿	32.86	0.98	65.88	0	0.09	0	0	0.07	0.06	0	0.07	0.07
HZP4-06	闪锌矿	32.37	1.1	66.32	0	0.1	0	0.01	0.04	0.04	0	0.01	0
HZP4-06	闪锌矿	32	4.98	62.79	0	0.12	0	0.05	0	0.04	0	0.01	0.09
HZ018	闪锌矿	32.75	0.39	66.53	0	0.16	0	0.03	0.01	0.09	0	0.05	0.02
HZP6-10	闪锌矿	33.14	0.06	66.43	0	0.12	0	0.04	0	0.07	0	0.05	0.09
HZ04	闪锌矿	32.16	1.27	66.35	0	0.12	0	0	0.02	0	0	0.03	0.03
HZ08	闪锌矿	35.07	1.29	63.18	0	0.22	0	0.12	0.09	0	0	0.04	0
HZP8-4	闪锌矿	32.85	2.92	63.95	0	0.12	0	0.01	0.01	0.02	0	0.05	0.08
4PHZ13	闪锌矿	33.72	1.78	63.93	0.25	0.17	0	0.11	0.01	0.01	0	0	0.02
HZ018	方铅矿	13.16	0.04	0.26	85.93	0	0.15	0.25	0.07	0.09	0	0.06	0
HZP6-11	方铅矿	12.83	0.02	0.06	86.49	0.18	0.02	0.24	0.02	0.05	0	0	0.08
HZ01	方铅矿	12.79	0.03	0.02	86.59	0.11	0.12	0.16	0	0.05	0	0.1	0.03
HZ02	方铅矿	13.35	0.2	0.2	85.77	0.09	0.06	0.05	0.06	0.01	0	0.08	0.12
2PHZ7-2	方铅矿	12.61	0.19	0.49	86.01	0.09	0.15	0.16	0.06	0.08	0	0.17	0
4PHZ04	方铅矿	13.61	0.05	0.06	85.81	0.03	0.19	0.01	0.1	0.05	0	0.01	0.08
HZ08	方铅矿	12.67	0.12	0	86.35	0.23	0.14	0.12	0.02	0.12	0	0.16	0.06
HZP4-5	方铅矿	13.21	0.01	0.22	85.85	0	0.17	0.34	0.02	0.03	0	0	0.15
HZ05	方铅矿	13.37	0.04	0.11	85.75	0	0.19	0.16	0.07	0.01	0.03	0.1	0.17
HZP6-12	方铅矿	13.72	0.11	0.21	85.27	0.11	0.17	0.19	0.07	0	0	0.14	0
HZP8-4	方铅矿	13.5	0.06	0.09	85.55	0.03	0.23	0.14	0.08	0	0	0.21	0.1
HZP6-15	方铅矿	13.42	0.13	0.08	85.85	0	0.1	0.18	0	0.05	0	0.11	0
4HPZ13	方铅矿	12.67	0.03	0.1	86.64	0	0.15	0.15	0.1	0.04	0	0	0.12
HZP6-11	黄铁矿	52.72	46.54	0.07	0	0.1	0.02	0.04	0.04	0	0.45	0	0.02
HZ02	黄铁矿	52.13	47.48	0.24	0	0.01	0.05	0	0.01	0.04	0	0.01	0.01
2PHZ7-2	黄铁矿	52.38	47.35	0	0	0.04	0	0.04	0.08	0	0	0.06	0.07
HZ04	黄铁矿	53.68	45.96	0.21	0	0	0	0.04	0.05	0.06	0	0	0
HZ08	黄铁矿	52.63	47.14	0	0	0.05	0	0.07	0	0.04	0	0.01	0.05
HZP4-5	黄铁矿	54.44	45.12	0.2	0	0	0.11	0	0.03	0.02	0	0.03	0.06

分析测试单位: 中国地质科学院成都矿产综合利用研究所分析测试中心

表 3 会泽铅锌矿床硫化物成矿元素相关系数矩阵表

Table 3 Correlation coefficient matrix of the ore forming elements in the sulfides from the Huize lead-zinc deposit Yunnan

元素	S	Fe	Zn	Pb	Cd	Ge	Ga	Co	Ni	Ag	Cu
S	1	0.83	0.09	-0.84	-0.13	-0.52	-0.56	-0.18	-0.29	-0.41	0
Fe		1	-0.48	-0.39	-0.36	-0.13	-0.29	0.04	-0.15	-0.17	0
Zn			1	-0.61	0.42	-0.60	-0.37	-0.36	-0.17	-0.34	0
Pb				1	-0.12	0.75	0.65	0.34	0.32	0.51	0.02
Cd					1	-0.28	-0.02	-0.08	-0.01	-0.01	-0.22
Ge						1	0.54	0.29	0.043	0.46	0.18
Ga							1	0.07	0.04	0.32	0.07
Co								1	0.15	0.31	0.03
Ni									1	0.21	0
Ag										1	-0.05
Cu											1

表 4 会泽矿床闪锌矿、黄铁矿和原生矿石镉锗镓含量

Table 4 Cd, Ge and Ga contents in them minerals sphalerite and pyrite and primary ores from the Huize lead-zinc deposit Yunnan

样品号	矿物(石)	Fe/%	Cd/ 10^{-6}	Ge/ 10^{-6}	Ga/ 10^{-6}
HZ14-03	闪锌矿	0.1	1661.3	—	3.52
HZ03	闪锌矿	4.44	1314.28	—	1.62
HZ05	闪锌矿	3.07	1128.64	—	1.17
HZ07	闪锌矿	3.86	1038.47	—	0.42
HZ08	闪锌矿	1.22	1079.12	—	24.52
HHZ04	闪锌矿	2.93	854.43	—	2.35
HHZ10	闪锌矿	4.13	1889.69	—	0.81
2HHZ07	闪锌矿	2.83	710	—	1.99
HZ15-03	闪锌矿	1.93	1007.01	—	2.14
HZ15-11	闪锌矿	0.75	886.69	—	3.8
HZ16-12	闪锌矿	0.93	819.65	—	2.86
HZ16-14	闪锌矿	4.96	1263.54	—	0.43
HZ16-21	闪锌矿	4.21	894.38	—	6.1
HZ17-08	闪锌矿	0.2	1349.66	—	2.77
HZ19-04	闪锌矿	0.7	958.41	—	3.54
HZ19-05	闪锌矿	3.3	760.03	—	5.12
HZ110-07	闪锌矿	2.08	485.01	—	10.03
HZ-01	黄铁矿	—	56.43	—	0.17
HZ-03	黄铁矿	—	34.61	—	0.41
HZ-07	黄铁矿	—	28.21	—	0.28
HHZ-04	黄铁矿	—	4.09	—	0.44
HHZ-10	黄铁矿	—	17.42	—	0.18
2HHZ-07	黄铁矿	—	25.38	—	0.14
HZ15-11	黄铁矿	—	0.26	—	0.2
HZ16-12	黄铁矿	—	6.87	—	0.31
HZ16-17	黄铁矿	—	35.24	—	0.76
HZ19-04	黄铁矿	—	7.43	—	0.13
HZ103	黄铁矿	—	16.06	—	0.1
HZ16-10	原生矿石	—	98.83	—	2.57
HZ14-05	原生矿石	—	62.3	—	1.33
HZ15-04	原生矿石	—	436.32	—	2.41
HZ15-04	原生矿石	—	436.32	—	2.41
HZ16-10	原生矿石	—	110.02	—	2.96
HZ18-04	原生矿石	—	999.12	—	1.52
HZ18-05	原生矿石	—	251.67	—	1.09
HZ07	原生矿石	—	294.99	—	0.89
HZ19-10	氧化矿石	—	365.65	—	0.54
4HHZ07	氧化矿石	—	31.67	—	2.27
4HHZ09	氧化矿石	—	751.68	—	0.59
HZ12-02	氧化矿石	—	1029.45	—	0.72
HZ12-06	氧化矿石	—	111.69	—	0.41

测试单位: 中国科学院地质与地球物理研究所, 等离子质谱(ICPMS)分析

-0.60, -0.37), 说明 Ge 和 Ga 可能是以类质同象的形式进入闪锌矿晶格替换了 Zn, 出现彼此消长现象。

(4)分散元素 Cd 与 Ge、Ga (R 分别为 -0.28, -0.02) 呈弱负相关, 说明三者不一定完全共生; 而 Ge 与 Ga 呈正相关关系 (R 为 0.54), 这是因为两者地球化学性质相近, 常密切共生在一起。

2.2 分散元素富集规律

笔者选取了 17 个闪锌矿、11 个黄铁矿单矿物和 8 个原生矿石、5 个氧化矿石样品进行了 ICPMS 分析显示, 分析结果列于表 4。由表 4 可见:

闪锌矿 Cd 的含量范围为 (485.01~1889.69)×10⁻⁶, 平均为 1064.72×10⁻⁶; Ge 的含量范围为 (0.42~24.52)×10⁻⁶, 平均为 4.31×10⁻⁶。

黄铁矿的 Cd 和 Ga 含量很低, 其中 Cd 含量范围仅为 (0.26~56.43)×10⁻⁶, 平均为 21.09×10⁻⁶; Ge 的含量范围仅为 (0.10~0.76)×10⁻⁶, 平均为 0.28×10⁻⁶。由此可见, 分散元素 Cd 和 Ga 主要富集于闪锌矿内, 较黄铁矿中的含量高 1~2 个数量级。

原生矿石样品的 Cd 含量分别为 (62.301~999.12)×10⁻⁶, 平均为 336.20×10⁻⁶; Ga 的含量范围为 (0.89~2.96)×10⁻⁶, 平均为 1.90×10⁻⁶, Cd 和 Ga 含量皆低于闪锌矿, 但高于黄铁矿。

氧化矿石的 Cd 含量范围介于 (31.667~1029.45)×10⁻⁶ 之间, 平均为 458.03×10⁻⁶; Ga 含量范围为 (0.41~2.27)×10⁻⁶ 之间, 平均为 0.91×10⁻⁶。与原生矿石相比, Cd 和 Ge 的含量均未发生明显变化。说明原生矿石在氧化作用过程中, 分散元素并未发生明显的迁移, 而是原地或就近富集于氧化带内。

应用电子探针对矿床分散元素含量进行分析 (表 2), 其中闪锌矿测点的微区成分: Cd 的含量范

围为 $(700 \sim 2900) \times 10^{-6}$, 平均分别为 1406.25×10^{-6} , Ge 的含量范围为 $(0 \sim 1200) \times 10^{-6}$, 平均为 81.25×10^{-6} , Ga 的含量范围为 $(0 \sim 1600) \times 10^{-6}$, 平均为 450×10^{-6} ; 方铅矿测点的微区成分: Cd 含量范围为 $(0 \sim 2300) \times 10^{-6}$, 平均为 669.23×10^{-6} , Ge 含量范围为 $(0 \sim 23) \times 10^{-6}$, 平均为 1415.38×10^{-6} , Ga 含量范围为 $(0 \sim 3400) \times 10^{-6}$, 平均为 1653.85×10^{-6} 。黄铁矿测点的微区成分: Cd 含量范围别为 $(0 \sim 1000) \times 10^{-6}$, 平均为 333.33×10^{-6} , Ge 含量范围为 $(0 \sim 1500) \times 10^{-6}$, 平均为 300×10^{-6} ; Ga 含量范围为 $(0 \sim 1000) \times 10^{-6}$, 平均为 316.67×10^{-6} 。

对比等离子质谱分析和电子探针分析结果, 闪锌矿中镉的平均含量十分相似, 均约为 1000×10^{-6} 数量级, 说明两种测试方法在一定程度上具有一定的可靠性。

本次工作没有获得方铅矿单矿物的 Cd、Ge、Ga

含量的等离子质谱 (ICP-MS) 分析结果, 对闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿和原生矿石的等离子质谱 (ICP-MS) 分析没有获得 Ge 的分析数据, 对分散元素 Cd、Ge、Ga 的赋存状态和富集规律的进一步研究有一定的影响, 有待今后进一步加强这方面的研究工作。

综上所述, 会泽矿床分散元素的富集规律为: 以富集 Cd 和 Ge 为特征, Ga 含量相对很低, 其中 Cd 主要富集于闪锌矿中, Ge、Ga 主要富集于方铅矿中, 三种分散元素镉、锗、镓在黄铁矿和黄铜矿中的富集程度很低。

参考文献:

[1] 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J]. 矿物学报, 2001, 21(4): 681—688.

Enrichment of the dispersed elements Cd, Ge and Ga in the Huize lead-zinc deposit, Yunnan

WANG Qian¹, GU Xue-xiang², FU Shao-hong³, ZHANG Ming⁴, LI Fa-yuan¹
(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 4. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The approaches to the enrichment of the dispersed elements Cd, Ge and Ga in the minerals and ores from the Huize lead-zinc deposit, Yunnan have been made by means of electron microprobe and ICP-MS. The authors contend that the studied dispersed elements occur in the form of isomorphism. The element Cd is enriched in sphalerite, and the elements Ge and Ga abound in galena from the Huize lead-zinc deposit.

Key words: Huize lead-zinc deposit; dispersed element; enrichment