

扬子地块西南缘铅锌矿床 Cd、Ge 与 Ga 富集规律初步研究

付绍洪^{1,2}, 顾雪祥², 王 乾¹, 李发源¹, 章 明¹

1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002

摘 要: 扬子地块西南缘分布着大量富含 Cd、Ge 与 Ga 的铅锌矿床, 已成为我国 Pb、Zn 及 Cd、Ge 与 Ga 矿产资源的重要生产基地。对代表性铅锌矿床进行野外地质调查和系统采样鉴定后, 应用电子探针微区分析手段, 研究主要矿石矿物闪锌矿、方铅矿和黄铁矿中分散元素的富集特征。结果显示, 各类矿床中闪锌矿均相对富集 Cd, 方铅矿富集 Ge 与 Ga, 而黄铁矿中 Cd、Ge 与 Ga 的富集系数均相对较低, 未呈现出选择性富集的趋势; 赋存于震旦纪—寒武纪地层且以脉状、网脉状产出的矿体中闪锌矿的 Cd 含量明显高于赋存于晚古生代并以层状产出的矿体中闪锌矿的 Cd 含量。

关 键 词: 铅锌矿床; 分散元素; 富集规律; 扬子地块

中图分类号: P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2004)02-0105-04

分散元素在地壳中以其丰度低并难于富集成矿为特征, 很少形成分散元素独立矿床, 主要以伴生元素的形式赋存于有色金属和贵金属矿床中。铅锌矿床即为 Cd、Ge 与 Ga 的主要富集体。

扬子地块西南缘的川滇黔邻接区分布着大量铅锌矿床, 如会泽麒麟厂铅锌矿、会东大梁子铅锌矿、会理天宝山铅锌矿、水城杉树林铅锌矿、富源富乐铅锌矿、都匀牛角塘铅锌矿等。这些铅锌矿床还以富集 Cd、Ge 与 Ga 等为特征, 如会泽麒麟厂铅锌矿床富集 Ge, 都匀牛角塘铅锌矿富集 Cd, 天宝山和大梁子铅锌矿床相对富集 Ge 和 Ga。近十年来, 已对这些矿床的基本地质特征和成因进行了多方面的研究^[1~4]; 但有关分散元素的研究尚较薄弱, 仅少数矿床做了一些初步工作^[5,6]。研究分散元素在矿床中的富集规律对矿产资源的综合利用和环境保护具有重要意义。

1 区域地质背景

研究区位于扬子地块西南缘川滇黔邻接区(图 1), 为环太平洋构造域和特提斯构造域的交汇部位, 具有复杂的构造演化历史。

该区前震旦纪经历东安运动和晋宁, 形成结晶基底; 主要由角闪片麻岩、混合岩、长英质片麻岩、低级变质碎屑岩和细碧角斑岩等构成。

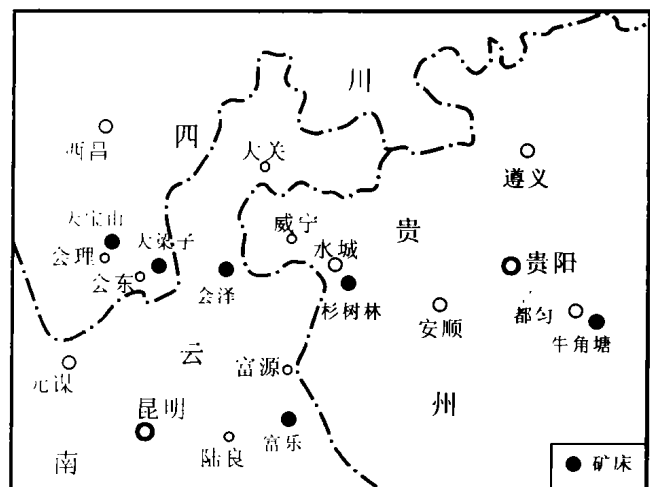


图 1 扬子地台西南缘主要铅锌矿床分布图

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of main lead-zinc deposits in the SW margin of the Yangtze platform

显生代以来区域构造环境呈现复杂多样的特征, 先后发育有裂谷、被动大陆边缘、岛弧和弧后盆地等构造单元, 形成了一套特殊的岩石组合。加里东早期以火山碎屑岩和浅变质碎屑岩为代表, 晚期则为浅海陆源碎屑岩和灰岩、白云岩。海西期与印支期的沉积物以白云岩、灰岩和细碎屑岩为代表; 这一时期还发生了大面积峨眉山玄武岩喷发作用。燕山期和喜马拉雅期仅发育少量陆相沉积物和火山岩系。总体上扬子地块西南缘岩浆活动的规模和强度相对较

收稿日期: 2003-08-15 收到, 12-01 改回

基金项目: 国家自然科学基金(49872038)和中国科学院百人计划基金资助项目

第一作者简介: 付绍洪(1964—), 男, 博士研究生, 矿床地球化学专业。

弱,仅局部有晚古生代与中生代基性和中酸性小岩体。

2 矿床地质特征

扬子地块西南缘产出的大量铅锌矿床的主要赋矿层位为震旦纪—寒武纪和晚古生代地层。如会理天宝山和会东大梁子铅锌矿床的赋矿层位为震旦系,都匀牛角塘铅锌矿床赋存于寒武纪地层,而滇东和黔西的许多铅锌矿床如会泽、水城杉树林和富源富乐等则以晚古生代地层特别是下石炭统摆左组为赋矿层位。

赋矿岩性的总体特征是以碳酸盐岩为主,即白云岩和石灰岩,通常为中粗粒白云岩和细粒致密块状灰岩。

矿体具有多样的形态和产状,以层状和脉状矿体最为典型。层状矿体与容矿地层呈整合接触关系,沿走向和倾向均有比较稳定的延伸,矿层厚度通常大于 1 m,少数可达 10 m 以上,如云南会泽铅锌矿 6 号矿体,最厚部位达 20 余米。脉状矿体与容矿地层呈高角度相交,矿体不同部位产状变化明显。通常,赋存于震旦纪—寒武纪地层中的矿体多以脉状、网脉状产出,而赋存于晚古生代地层中的矿体多呈层状、似层状。

扬子地台西南缘铅锌矿床的主要矿物几乎都是闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,个别矿床的闪锌矿中有固

溶体黄铜矿。所有的矿床中均富含闪锌矿,而方铅矿和黄铁矿的含量变化颇大,矿石中的体积百分含量可从小于 1% 至大于 15%。

3 样品的采集和实验

样品采于代表性铅锌矿床之中,包括会泽麒麟厂铅锌矿、会东大梁子铅锌矿、会理天宝山铅锌矿、水城杉树林铅锌矿、罗平富乐铅锌矿、都匀牛角塘铅锌矿。这些矿床均在开采之中,有的矿床已采至地下近 1000 m 深处。矿床在三度空间上已充分揭露,为采集新鲜矿石样品提供了良好条件。

所有样品均系统进行光片鉴定,识别出不同类型的矿物,圈出测试区域,喷炭后置入电子探针仪器进行高倍观测和成分测定。

测试仪器为日产 JXA-733 型电子探针仪。测试条件:加速电压 20 kV;电流 15 nA;电子束直径 1 μm 。用波谱法逐个测定各元素含量。

4 结果和讨论

共测试了 120 个闪锌矿、方铅矿和黄铁矿的电子探针成分分析点,测试元素包括 Zn、Pb、Fe、S、Cd、Ge、Ga、Co 和 Ni(表 1)。

从表 1 可见,闪锌矿富集 Cd,含少量 Ga,Ge 含量甚微;方铅矿明显富集 Ge 和 Ga,同时含一定量的

表 1 扬子地台西南缘铅-锌矿床主要矿物的元素平均含量(%)

矿床	矿物	S	Fe	Co	Ni	Cd	Ge	Ga	Zn	Pb	测点数
会泽	闪锌矿	33.24	2.14	0.03	0.03	0.11	0.01	0.05	64.30	0.02	23
会泽	方铅矿	13.12	0.08	0.06	0.05	0.07	0.13	0.16	0.15	86.02	14
会泽	黄铁矿	52.99	46.15	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.13	0.02	11
大梁子	闪锌矿	33.43	1.38	0.02	0.02	0.37	0.00	0.06	64.59	0.00	8
大梁子	方铅矿	13.37	0.08	0.03	0.05	0.06	0.17	0.19	0.10	85.82	6
大梁子	黄铁矿	53.51	45.45	0.06	0.07	0.05	0.09	0.06	0.52	0.00	8
天宝山	闪锌矿	33.58	1.14	0.02	0.01	0.37	0.02	0.06	64.63	0.01	9
天宝山	方铅矿	13.29	0.10	0.08	0.06	0.11	0.14	0.21	0.10	85.73	7
天宝山	黄铁矿	53.32	45.98	0.06	0.02	0.03	0.06	0.04	0.21	0.00	4
富乐	闪锌矿	33.42	0.12	0.02	0.05	0.19	0.00	0.03	66.04	0.00	2
富乐	方铅矿	13.22	0.03	0.07	0.09	0.00	0.20	0.13	0.10	86.12	2
富乐	黄铁矿	53.10	45.12	0.07	0.01	0.04	0.03	0.03	1.54	0.00	2
杉树林	闪锌矿	33.17	2.05	0.04	0.03	0.10	0.01	0.02	64.40	0.05	6
杉树林	方铅矿	13.27	0.12	0.04	0.00	0.05	0.14	0.18	0.14	85.77	2
杉树林	黄铁矿	52.59	46.71	0.04	0.08	0.06	0.12	0.03	0.32	0.00	4
牛角塘	闪锌矿	33.38	0.56	0.01	0.01	0.71	0.00	0.05	65.16	0.01	7
牛角塘	方铅矿	13.09	0.18	0	0.01	0.03	0.24	0.03	0.20	86	1
牛角塘	黄铁矿	53.55	46.06	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.23	0.00	4

Cd;而黄铁矿中 Cd、Ge、Ga 的含量均相对较低。依据闪锌矿中 Cd 的富集程度可划分出三类矿床:强富集型(Cd 平均丰度大于 0.70%),以都匀牛角塘铅锌矿床为代表;中等富集型(0.30%~0.40%)代表性矿床为会东大梁子和会理天宝山铅锌矿床;弱富集型(小于 0.20%)型有云南会泽铅锌矿床、富乐铅锌矿床、贵州杉树林铅锌矿床。Ge 的载体矿物主要为方铅矿,单测点 Ge 的含量通常为 0.10%~0.35%;矿床层次上方铅矿的 Ge 平均丰度为 0.13%~0.24%;黄铁矿中也含有一定量的 Ge,丰度为 0.03~0.12%;而闪锌矿中 Ge 含量极低,绝大多数测点低于检测限,平均含量小于 0.02%。Ga 主要富集于方铅矿中,平均含量通常大于 0.13%,而闪锌矿和黄铁矿中虽有一定含量,但平均丰度均小于 0.06%。

分析数据显示这些矿床的分散元素富集特征既有共性,又具有一定的差异性。共性表现为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿对 Cd、Ga、Ge 的富集效应是一致的,即闪锌矿相对富集 Cd,方铅矿相对富集 Ge 与 Ga,而黄铁矿中 Cd、Ga、Ge 的富集程度相对较低。差异性体现为不同的矿床闪锌矿中 Cd 的含量变化显著。如杉树林和会泽铅锌矿中 Cd 的平均含量仅 0.10%和 0.11%,而牛角塘铅锌矿中闪锌矿的 Cd 平均含量达 0.71%,相差达 6 倍以上。

矿床中方铅矿的富集程度与闪锌矿的 Cd 含量有一定的负相关性,即矿床中方铅矿的含量相对较高,则闪锌矿的 Cd 丰度相对较低。如会泽和杉树林铅锌矿床的方铅矿在矿石矿物中的含量均大于 10%,其闪锌矿的 Cd 丰度均相对较低。而仅含少量方铅矿的矿床,Cd 的含量均较高,如牛角塘铅锌矿床的方铅矿含量小于 1%,闪锌矿的 Cd 含量明显高于其他矿床。大梁子、天宝山和富乐等铅锌矿床中方铅矿的含量约为 2%~5%,这些矿床闪锌矿的 Cd 含量居中。

总体上,可将扬子地块西南缘铅锌矿床的容矿地层归属为两个时段,即震旦纪—寒武纪和晚古生代。天宝山、大梁子和牛角塘铅锌矿床的容矿地层为震旦纪—寒武纪,会泽、富乐及杉树林铅锌矿床赋存于石炭纪和二叠纪地层。产于两套不同时代铅锌矿床的分散元素 Cd 富集特征上反映出明显的差异效应。容矿地层时代相对较老的铅锌矿床 Cd 的含量显著高于时代较新的铅锌矿床。前者闪锌矿的 Cd 丰度平均大于 0.37%,而后者的闪锌矿 Cd 含量平均低于 0.20%,其中两个矿床的闪锌矿 Cd 含量仅 0.10%和 0.11%。Ge 和 Ga 的丰度在不同矿床的同类矿物中没

有明显的差异;另外,方铅矿和黄铁矿中 Cd、Ge 与 Ga 的含量在各矿床之间也没有大的变化。

矿体产状有两类:层状、似层状矿体与脉状、网脉状矿体。震旦纪—寒武纪地层中的矿体多为脉状,构造控制明显,具后期成矿作用特征。而产于晚古生代地层中的矿体多呈层状,与顶底板整合接触,显示同生沉积性质。两类矿床闪锌矿中 Cd 的丰度有显著不同:老地层中的脉状、网脉状矿体的闪锌矿相对富集 Cd,而产于晚古生代地层的层状矿体的闪锌矿中 Cd 含量则相对较低;最大相差达 7 倍。

这些矿床在次级构造单元上呈现出一定的分带特征,即赋存于晚古生代地层中的矿床分布于成矿域的中部,而震旦系—寒武系地层中的矿床则产于东西两侧。可见,两类矿床是在不同的构造背景下发育演化形成的,成矿物质来源、成矿物理化学条件和成矿作用机制均存在着差异,因而矿物中分散元素的富集特征也呈现规律性的变化。

电子显微镜观测尚未发现闪锌矿、方铅矿和黄铁矿中有分散元素的独立矿物。对分散元素的寄主矿物所做的 Cd、Ge 与 Ga 面扫描显示出均一的影像特征,即未发现高于仪器本底的富集区域。由此可见,分散元素主要以类质同象的形式赋存于闪锌矿、方铅矿与黄铁矿等寄主矿物之中。考虑到电子探针分析方法的局限性,因此不排除存在小于微米级分散元素独立矿物的可能性。对各矿区富镉闪锌矿和富锗方铅矿分别所做的 Cd-Zn 和 Ge-Pb 相关分析显示,两组的相关系数普遍小于 0.5,且正负值均有;由于矿物中分散元素的含量与主元素含量相差在两个数量级以上,测试本身又具有一定的误差,因此尚难根据元素的相关性推断主元素和分散元素之间的替代关系。

考虑到电子探针的检测精度相对较低,且测点的代表性也不甚佳,因此探针结果仅能初步揭示 Cd、Ge、Ga 在扬子地块西南缘铅锌矿床中的富集规律。本次研究对闪锌矿、方铅矿与黄铁矿所做的 120 个测点数据反映出分散元素在不同矿床和不同矿物之间的富集特征有显著差异,而这种差异是由矿床的成矿地质背景,即区域构造演化、容矿岩石类型、成矿流体性质、成矿作用机制等^[7,8]所决定的。因此,要深入阐明分散元素在矿床和矿物层次上的富集规律,就需要全面认识矿床形成的地质背景和物理化学条件,需要做高精度的测试分析。

5 结 论

扬子地块西南缘分布的大量铅锌矿床含有丰富

的 Cd、Ge 与 Ga 资源。它们在矿床中的富集特征表现为闪锌矿富集 Cd, 方铅矿富集 Ge 与 Ga, 黄铁矿的 Cd、Ge 与 Ga 含量比较均匀, 但富集程度相对较弱。赋矿层位、矿体产出形态、矿石类型等与分散元素的富集效应之间呈现一定的关系。赋矿层位相对较新且以层状产出的矿床 Cd 的丰度明显低于赋矿层位较老并以脉状、网脉状产出的矿床; 富含方铅矿的矿床中闪锌矿的 Cd 含量相对较低, 而仅含少量方铅矿的矿床中闪锌矿的 Cd 富集系数相对较高。

分散元素的富集特征及规律与矿床形成的构造条件、容矿岩石性质、成矿流体的物理化学条件等直接相关。因此, 认识分散元素在矿床中的富集规律有助于研究区域铅锌矿床的形成和演化。

参考文献 (Reference):

- [1] 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 刘家军. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景成因探讨[J]. 地质地球化学, 2001, 29(2): 41-45.
Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, Liu Jiajun. The geological setting, characters and origin of Mississippi valley-type Pb-Zn deposits in Sichuan and Yunnan provinces[J]. *Geology-Geochemistry*, 2001, 29(2): 41-45. (in Chinese with English abstract)
- [2] 周朝宪. 滇东北麒麟厂铅锌矿床成矿金属来源、成矿流体特征和成矿机理研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(1): 34-36.
Zhou Chaoxian. The source of mineralizing metals, geochemical characterization of ore-forming solution, and metallogenetic mechanism of Qilinchang Zn-Pb deposit, Northeastern Yunnan province, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1998, 17(1): 34-36. (in Chinese with English abstract)
- [3] 林方成. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探[J]. 矿床地质, 1994, 13(2): 126-136.
Lin Fangcheng. Some new opinions on the genesis of the Daliangzi Lead-Zinc deposit, Huidong county, Sichuan province[J]. *Mineral Deposits*, 1994, 13(2): 126-136. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王林江. 黔西北铅锌矿床的地质地球化学特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1994, 14(2): 125-130.
Wang Linjiang. Geological and geochemical features of Lead Zinc deposits in Northwestern, Guizhou[J]. *Journal of Guilin College of Geology*, 1994, 14(2): 125-130. (in Chinese with English abstract)
- [5] 朱赖民, 袁海华, 栾世伟. 金阳底苏会东大梁子铅锌矿床内闪锌矿微量元素标型特征及其研究意义[J]. 四川地质学报, 1995, 15(1): 49-55.
Zhu Laimin, Yuan Haihua, Luan Shiwei. Typomorphic characteristics and their significance of minor elements of sphalerite from Disu and Daliangzi deposits, Sichuan[J]. *ACTA Geologica Sichuan*, 1995, 15(1): 49-55. (in Chinese with English abstract)
- [6] 叶霖, 刘铁庚. 贵州都匀牛角塘镉锌矿床中镉的分布及赋存状态探讨[J]. 矿物学报, 2001, 21(1): 115-118.
Ye Lin, Liu Tiegeng. Distribution features and existing forms of cadmium in the Niujiatong Cd-rich zinc deposit, Guizhou, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001, 21(1): 115-118. (in Chinese with English abstract)
- [7] Schwartz M O. Cadmium in zinc deposits: Economic geology of a polluting element [J]. *International Geology Review*, 2000, 42:445-469.
- [8] Bernstein L R. Germanium geochemistry and mineralogy[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1985, 49:2409-2422.

A Preliminary Study on the Enrichment Regularity of Dispersed Elements in Lead-Zinc Deposits in the SW Margin of the Yangtze Platform

FU Shao-hong^{1,2}, GU Xue-xiang², WANG Qian¹, LI Fa-yuan¹, ZHANG Ming¹

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China

Abstract: Many lead-zinc deposits in the SW margin of the Yangtze platform are characterized by the enrichment in dispersed elements, such as cadmium, germanium, and gallium. Enrichment characteristics of these dispersed elements in sphalerite, galena, and pyrite were delineated by electron microprobe analysis. Sphalerite has a high content of cadmium, while galena is characterized by enrichment in germanium and gallium. Pyrite contains cadmium, germanium and gallium on a lower level, with no selection for the elements. Cadmium contents in the sphalerite of the orebodies hosted in the Sinian and Cambrian strata and occurring as veins and stockworks are usually higher than those hosted in the late Mesozoic strata and occurring as layers or layer-like forms.

Key words: lead-zinc deposits; dispersed element; enrichment regularity; Yangtze platform