

自然界中 ZnS–CdS 完全类质同象系列的发现和初步研究

刘铁庚 张 乾 叶 霖 邵树勋

(中国科学院矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要:过去认为在自然界中的 Cd 只能有限替代 ZnS 中的 Zn。但是,近几年笔者在研究贵州牛角塘镉锌矿床时,经电子探针、扫描电镜和透射电镜等多种方法的研究,发现锌硫化物中的 Cd 主要以类质同象存在,其含量可从 0.8% 增至 37.93%;镉硫化物中的 Zn 同样主要以类质同象存在,其含量为 2.43%~38.64%。锌硫化物与镉硫化物成渐变的过渡关系,并且 Zn 与 Cd 成很好的负相关关系,相关系数达 0.99 以上,形成 ZnS–CdS 的完全类质同象系列。这一发现无论在矿物学,还是在地球化学和矿床学上都具有重要的理论意义和实用价值。

关键词: Zn; Cd; ZnS–CdS 系列矿物; 类质同象; Cd–Zn 矿床; 贵州

中图分类号: P578.2+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–3657(2004)01–0040–06

类质同象是自然界普遍存在的现象,但是,形成完全类质同象系列的矿物却很有限,如钠长石—钙长石系列,镁杆栏石—铁杆栏石系列等。所以说发现完全类质同象系列的难度和意义远远大于发现新矿物。如近 20 年来,全世界发现近百种新矿物,却未见有关发现完全类质同象系列的报道,就说明了这个问题。

自然界中存在的 ZnS 主要是闪锌矿,其次为纤锌矿,二者为同质异构体(下文提到的闪锌矿包含纤锌矿)。天然的 CdS 包括硫镉矿和方硫镉矿,二者也为同质异构体(下文提到的硫镉矿包括方硫镉矿)。闪锌矿是金属矿床中最常见的矿石矿物之一,前人进行了大量的研究,发现闪锌矿只含少量的 Cd(一般为 0.2%~0.6%^[1~4],最高也不超过 10%^[3,5]),主要以类质同象形式存在^[6]。硫镉矿和方硫镉矿均是罕见的金属矿物。硫镉矿的 Zn 含量 < 10%^[7~11],方硫镉矿的 Zn 含量一般为 5%~10%^[12]。说明目前发现自然界中的 Cd 或 Zn 只是有限置换 ZnS 或 CdS 中 Zn 或 Cd。

经电子探针、扫描电镜和透射电镜多种方法的多次研究,发现贵州省牛角塘镉锌矿床中的闪锌矿与硫镉矿的 Zn、Cd 含量是连续变化的,Zn 与 Cd 成负相关关系,相关系数在 0.99 以上,表明形成了锌—镉硫化物的完全类质同象系列。这一发现不仅丰富了矿物学的研究内容,而且具有重要的地球

化学和成矿理论意义,还可以根据闪锌矿的 Cd 含量寻找或评价镉矿床,也可以与闪锌矿的 Fe、Mn 等微量元素配合讨论矿床形成的温度和压力。

1 牛角塘镉锌矿床产出的地质构造背景

牛角塘镉锌矿床位于贵州省都匀地区,分布在扬子准地台与江南褶皱带的过渡带^[3]。矿床产于震旦系—下寒武统黑色岩系,矿体赋存于下寒武统清坪洞组藻类白云岩中。矿层之上多有一层黑色砂质页岩或黑色砂泥质白云岩^[14~15],对矿体的形成起一定的屏蔽作用。矿体呈层状或似层状产出,与围岩成渐变的过渡关系。矿石主要由闪锌矿和黄铁矿组成,还含少量的方铅矿和纤锌矿等,偶见硫镉矿、菱镉矿、方硫镉矿和方镉矿(?)。闪锌矿和黄铁矿除呈他形细粒晶体分布外,还有大量的草莓状和结核状集合体。硫镉矿主要以他形粒状晶体分布在硫化物粒间呈皮壳状分布于矿石或裂隙表面,其次成微脉穿插闪锌矿、黄铁矿和白云石,偶见以包体形式产于闪锌矿或黄铁矿中的硫镉矿^[14~17]。

矿床明显富 Cd。Cd 含量一般为 $2\ 000 \times 10^{-6} \sim 9\ 000 \times 10^{-6}$,最高达 1.34%。比地壳克拉克值高 4~5 个数量级,是其他铅锌矿床 Cd 含量的几十到数百倍^[14]。

该矿床为弱改造的沉积矿床,在成矿过程中可能有生物

收稿日期:2002–08–28; 改回日期:2003–07–16

基金项目:国家自然科学基金项目(40172037)和中国科学院矿床地球化学开放实验室基金项目资助。

作者简介:刘铁庚,男,1941年生,研究员,从事矿床地球化学研究;E-mail:ltg2101@yahoo.com.cn。

和热水的参与^[9],成矿温度通常为 80~120°C^[14-17]。

2 闪锌矿和硫镉矿的 Zn、Cd 含量

闪锌矿中 Cd 的衍射点(除偶见密集中心外)绝大多数呈分散状分布,但有疏有密。在 Cd 衍射点的密集的地方,Zn 衍射点稀疏;在 Cd 衍射点稀疏的地方,Zn 衍射点密集,呈现负相关趋势(图 1~2)。后经电子探针、透射电镜和扫描电镜等多种方法的研究,发现闪锌矿与硫镉矿中 Cd 和 Zn 的含量为渐变的过渡关系。

2.1 闪锌矿的 Cd 含量

闪锌矿是本矿床中最重要的载 Cd 矿物,其 Cd 含量约占矿石 Cd 总量的 82%以上。闪锌矿中 Cd 的衍射点基本都呈分散状面分布,偶见密集中心,表明 Cd 基本都以类质同象形式存在,偶有独立镉矿物包体。共测试 100 多个闪锌矿样品或测点,其 Cd 含量从 0.8%到 37.93%,一般(>95%的样品)为 0.8%~4%,平均是 2.29%,比其他矿床中闪锌矿的 Cd 含量高几十到几千倍^[14]。闪锌矿的 Zn 含量相应偏低,一般为 77.03%~55.51%,少数<55.51%(表 1),Cd 与 Zn 成负相关趋势。此外矿床中的其他矿物(如黄铁矿、方铅矿和白云石等)都有很高的 Cd 含量,比其他矿床相应矿物的 Cd 含量通常高 3~6 个数量级^[9],表明成矿溶液中有很高的 Cd 浓度。

2.2 硫镉矿的 Zn 含量

硫镉矿中 Zn 的衍射点均呈分散面状分布,未发现密集中心,表明硫镉矿中 Zn 也呈类质同象形式存在。硫镉矿的 Zn 含量从 2.43%变到 34.03%(表 1),平均为 14.44%;Cd 含量相应的从 72.55%减到 44.71%,平均为 61.52%,Cd 与 Zn 成负相关关系,相关系数为-0.9483(N=18)。

2.3 Zn 与 Cd 的相关关系

将表 1 中的 Cd 和 Zn 重量百分含量和 CdS 和 ZnS 的克分子百分含量分别投于两张座标图上(图 3~4),可以看出投

点明显呈线性均匀分布,特别是 CdS 和 ZnS 投射点为一条十分完好的直线。直线的斜率与座标接近 45°角。反映闪锌矿与硫镉矿的 Cd 和 Zn 或 CdS 和 ZnS 的含量是渐变的过渡关系,并成负相关。Cd 与 Zn 的相关系数为-0.98063(N=31)。CdS 和 ZnS 的相关系数为-0.9999(N=31)。同时,也说明 Cd 与 Zn,CdS 与 ZnS 基本是一对一的的类质置换,形成了 CdS-ZnS 完全类质同象系列。

所谓完全类质同象系列,就是物质结晶时,晶体结构中本应由某些质点(离子、原子或其他质点)所占据的晶位,一部分或全部被晶体化学性质相似的其他质点所占据,共同结晶成均匀的单相混晶体(或称混晶),而不引起晶体特性和晶体构型产生质变的现象。如果原有质点 A,置换质点 B,所形成的类质同象混晶,既含 A 又含 B。其间各自所占份额可以不同,以不同含量比例所形成的一系列在成分上彼此不同,但又为连续变化的混晶,称为完全类质同象系列。

扫描电镜(表 2、图 5)和透射电镜(图 6)的测试结果与电子探针的结果完全一致,也完全证明硫化物与镉硫化物 Cd、Zn 含量是连续变化的、过渡的,扫描电镜分析结果计算出 Cd 与 Zn 的相关系数为-0.99497(N=14)。图 5 是扫描电镜测得的一系列能谱图中具有代表性的 4 幅。从图 5-a 到图 5-d Zn 含量逐渐降低,Cd 反而升高。图 6 是透射电镜测试结果中的 3 幅能谱图,其中图 6-a 的 Zn 的含量最高,Cd 含量最低,图 6-b 的 Cd、Zn 含量基本相等,图 6-c 的 Zn 含量最低,Cd 含量最高。

在透射电镜测定锌、镉硫化物成分的同时,也研究了它们的矿物结构。从透射电镜的电子衍射图上(图 7)可以明显的看出所测对象是结晶比较好的单矿物晶体,不是混合物。图 7 衍射图与透射电镜能谱图对应,为同一矿物结构和成分分析的结果。

总之,通过电子探针、扫描电镜和透射电镜等方法的研究,可以认定自然界确实存在 ZnS 与 CdS 的完全类质同象系列。

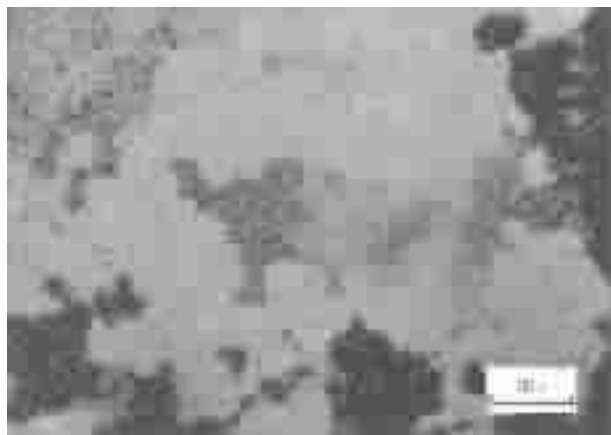


图 1 Zn 的电子衍射图(样号:L3—21)

Fig. 1 Electron diffraction diagram of Zn (sample L3—21)



图 2 Cd 的电子衍射图(样号:L3—21)

Fig. 2 Electron diffraction diagram of Cd (sample L3—21)

表 1 闪锌矿-硫镉矿的电子探针分析结果
Table 1 Microprobe analysis of sphalerite-greenockite

矿物	闪				锌				矿				硫 镉 矿			
	L ₃ -21				N-1								P ₂ -4	P ₂ -5		
样号	P ₂ -1	P ₂ -2	P ₂ -3	P ₂ -10	p-2	p-5	p-6	p-8	p-12	p-13	p-14	p-15	p-16			
重量 %	Zn	66.62	52.07	66.28	34.87	63.18	57.64	64.01	64.68	46.66	55.51	61.36	62.64	77.03	11.05	10.34
	Cd	1.47	22.29	1.47	37.93	1.94	17.26	17.91	1.69	26.32	13.78	6.72	2.98	2.31	62.20	60.93
	S	32.64	25.06	32.96	26.90	33.60	22.10	19.06	33.59	27.64	30.70	32.06	33.40	20.61	20.18	19.74
	Fe	1.02	0.39	1.03	0.32	0.05	0.02	0.06	0.04	0.00	0.01	0.02	0.05	0.05	0.04	0.05
共计	101.75	99.80	101.70	100.00	98.77	96.85	101.04	100.00	99.62	100.00	100.15	99.05	100.00	93.46	91.06	
分子 %	ZnS	97.0	78.9	97.0	60.6	96.5	83.9	84.7	96.8	74.3	86.0	92.5	95.6	96.6	23.4	22.6
	CdS	12.0	19.7	1.3	38.3	1.7	14.6	13.8	1.5	24.4	12.4	5.9	2.6	1.7	76.5	77.3
	FeS	17.0	1.4	1.7	1.1	1.7	1.5	1.5	1.7	1.3	1.5	1.7	1.7	1.7	0.1	0.1
	共计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

矿物	硫					镉				矿							
	L ₃ -21					N-1				DL-6	DL-6	DL-6	DL-6	DL-6	Ⅲ-4	Ⅲ龙-1	
样号	P ₂ -6	P ₂ -7	P ₂ -9	P ₂ -12	P ₂ -13	p-7	p-9	p-10	p-11								
重量 %	Zn	8.90	7.68	26.30	6.13	20.58	19.54	15.98	21.65	34.03	5.98	2.43	27.18	6.70	5.33	7.81	22.59
	Cd	65.84	68.50	46.23	69.11	52.17	57.37	61.05	56.95	48.71	72.55	75.14	44.71	68.73	69.68	70.39	56.73
	S	21.47	20.36	25.08	20.96	23.19	23.09	21.04	21.48	17.24	18.19	21.73	27.95	22.75	22.71	21.34	18.70
	Fe	0.04	0.06	0.17	0.08	0.09	0.00	0.38	0.06	0.03	0.53*	0.71*	0.05*	0.46*	0.34*	0.44*	0.14*
共计	96.25	96.59	97.77	96.26	96.02	100.00	98.54	100.00	100.00	0	98.95	100.00	99.89	98.28	98.06	99.98	98.18
分子 %	ZnS	18.8	16.1	49.3	13.2	40.3	36.9	30.8	39.0	54.5	12.3	5.2	51.0	14.2	11.5	15.9	40.5
	CdS	81.1	83.7	50.4	86.6	59.5	63.1	68.4	60.4	45.4	86.5	93.1	48.8	84.7	87.6	83.1	59.2
	FeS	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2	0.0	0.9	0.1	0.1	0.4*	0.4*	0.0*	0.3*	0.3*	0.3*	0.1*
	共计	100.0	99.9	100.1	100.0	100.0	100.0	100.1	99.5	100.0	99.2	98.7	99.8	99.2	99.4	99.3	99.8

注:L₃-21和N-1光片由武汉工业大学叶先贤教授测试;其他引自谷团^[20]的资料;*为铅或PbS含量。

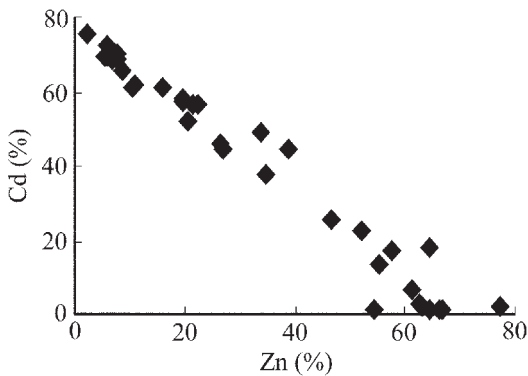


图 3 ZnS 和 CdS 中 Zn 与 Cd 的关系

Fig. 3 Relationship between Zn and Cd in sphalerite and greenockite

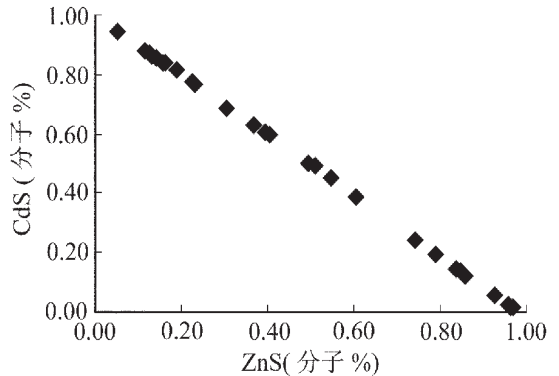


图 4 闪锌矿和硫镉矿中 ZnS 与 CdS 分子的关系

Fig. 4. Relationship between ZnS and CdS molecules

3 理论分析

Cd和Zn在元素周期表中为相邻的第Ⅳ副族元素,电子壳层结构相同,地球化学特征类似。因而在自然界常常共生在一起,可以形成CdS与ZnS的完全类质同象系列。因此,Zn和Cd具备完全类质同象置换的充分和必要条件:

(1) 化学结构类型相同。化学结构是进行类质同象置换的必要条件,化学结构不同的物质不能进行类质同象替换。ZnS

和CdS的化学结构都是A_x型。

(2) 键性相同。确定类质同象替换时,键性往往具有决定性意义。相同键性的元素之间才能进行类质同象置换,不同键性的元素之间很难进行类质同象置换。Zn和Cd都是铜型离子,并具有较强的极化性能。铜型离子则以共价键为主^[7]。

(3) 原子(或共价)半径相似。在键性相同条件下,离子半径或原子半径近似是类质同象替代的重要条件。王濮等^[7]认为,相互置换的两个元素的原子(或离子)半径差,即(R₁-R₂)/

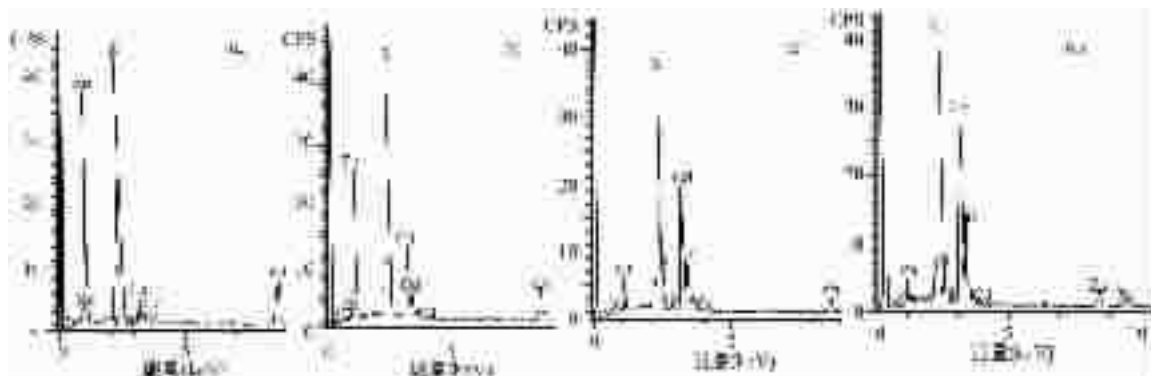


图 5 扫描电镜的能谱图(样号:N-1)

Fig. 5 Energy spectrum diagram of the scanning microprobe (sample N-1)

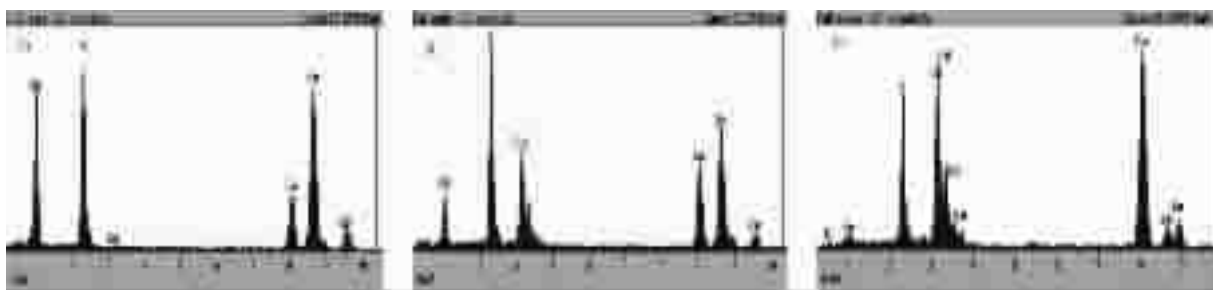


图 6 透射电镜能谱图(样号:L3-21)

Fig. 6. Energy spectrum diagram of the transmission electron microscope (sample L3-21)

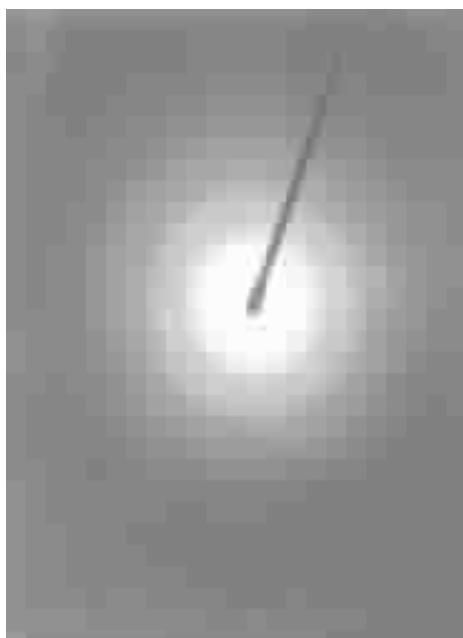


图 7 CdS—ZnS 矿物的衍射图(刘世荣分析,样号 B-6)

Fig. 7 Electron diffraction diagram of cadmium-zinc sulfide minerals (analyzed by Liu Shirong; sample B-6)

$R_2 < 15\%$ 时,可以进行完全类质同象。Zn 和 Cd 的原子半径或是共价半径差均小于 15%。Zn 的原子半径为 1.333×10^{-10} , Cd 的原子半径为 1.400×10^{-10} ,二者半径差 5.03%; Zn 和 Cd 的四面体共价键半径分别为 1.31×10^{-10} 和 1.48×10^{-10} ,二者半径差为 13%。

(4) 晶格能接近。类质同象体现在原子或离子半径的大小、电价、电负性和化合物晶体结构类型相似,这些特征的综合反映表现为晶格能(或生成热)相似。根据晶格能公式^[20]求得晶格能为: CdS=3 401.6kJ/mol, ZnS=3 648.4kJ/mol, 二者的晶格能相差 7%。据费氏公式^[21]求得晶格能为: CdS=3 375.2kJ/mol, ZnS=3 589.5kJ/mol, 能量差为 6%。表明 ZnS 和 CdS 的晶格能非常接近。

此外, Zn 和 Cd 的电价(均为 2)、配位数(均为 4)和电负性(钱逸泰^[22]给出 Cd 和 Zn 的电负性均为 1.5。张家斌等^[23]给出 Cd 的电负性为 1.6, Zn 的为 1.7)相同或近似,表明镉、锌硫化物可以进行完全类质同象置换。

4 结论

鉴于 CdS 与 ZnS 有同样的结晶化学性质、相同的化学结构、四面体配位、键性和接近的原子半径(和共价键半径)、

表 2 锌—镉硫化物的扫描电镜测试结果 (%)
Table 2 Microprobe analysis of zinc-cadmium sulfides (%)

测 点	S	Fe	Zn	Ge	As	Pd	Cd	合 计
1A	28.39	0.52	36.69	0.00	0.00	0.00	34.39	100.00
2	32.28	1.15	56.66	0.00	0.00	0.08	9.83	100.00
3B	32.80	0.51	54.21	0.00	0.00	0.00	12.48	100.00
4	39.30	0.21	50.91	0.00	0.09	0.00	9.50	100.00
5	28.86	0.82	27.41	0.00	0.80	0.00	42.11	100.00
6	32.63	0.37	41.72	0.00	0.00	0.00	25.27	100.00
7C	24.14	0.55	16.19	0.32	0.00	0.14	58.66	100.00
8	27.46	0.88	29.64	0.00	0.00	0.00	42.03	100.00
10	25.50	0.86	24.49	0.00	0.00	0.13	49.02	100.00
11D	21.44	0.11	10.83	0.00	0.00	0.01	67.61	100.00
12	22.91	0.13	27.97	0.00	0.00	0.18	48.81	100.00
13	32.86	0.01	65.27	0.00	0.00	0.00	1.86	100.00
14	34.20	0.00	63.89	0.00	0.00	0.00	1.91	100.00
15	21.76	0.02	14.72	0.00	0.00	0.00	63.49	100.00
9	33.81	0.19	17.50	0.00	0.00	0.00	48.34	100.00

注:由中国科学院广州地球化学研究所矿物室陈鸣分析

相似的负电性和晶格能等,CdS和ZnS可以完全进行类质同象置换,并且已被实验证明^[6]。因为许多铅锌矿床的Cd含量不高,成矿介质中Cd的浓度不能满足替代Zn的需要。牛角塘镉锌矿床有极高的Cd含量,并发现许多独立镉矿物,显示成矿溶液中Cd的浓度足够高。可以满足Cd替换闪锌矿中Zn的需要。所以在牛角塘镉锌矿床形成了Zn、Cd的完全类质同象系列。

致谢 此项工作是在涂光焱院士指导和刘从强所长大力支持和帮助下完成的;在研究中得到武汉工业大学叶先贤教授、中国科学院广州地球化学研究所陈鸣研究员和中国科学院贵阳地球化学研究所刘世荣副研究员以及贵州省地矿局104队的大力协助,在此一并致谢!

参 考 文 献 (References):

- [1] 涂光焱,等.中国层控矿床地球化学(第一卷)[M].北京:科学出版社,1984.22~24.
Tu Guangzhi, et al. Geochemistry of Stratabound Ore Deposit in China (Vol.1) [M]. Beijing: Science Press, 1984.22~24.
- [2] 王育民,朱学鳌,余琼华,等.湖南铅锌矿地质[M].北京:地质出版社,1988.343~375.
Wang Yumin, Zhu Xueao, Yu Qionghua, et al. Geology of Lead-Zinc Ore in Hunan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.22~24.
- [3] Shibue Y. High cadmium content of sphalerite from major tungsten deposits in Japan[J]. Mineralogical Journal, 1988, 14(4): 115~125.
- [4] Botnikov N S, Dobrovolskaya M G, Ginkin A D. Sphalerite-galena geothermometers: distribution of cadmium manganese and the fractionation of sulfur isotopes[J]. Economic Geology, 1995, 90(1): 155~183.
- [5] Chen T T and Duterizac J E. Lawtit and cadmium-rich sphalerite from the Ross mine, Hislop township, Ontario[J]. Canadian mineralogist, 1978, 16: 665~669.
- [6] 南京大学地质系岩矿教研组. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1978.297~298.
Teaching and Research Group of Nanjing University. Crystallography and Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978.297~298.
- [7] 王濮,潘兆橹,翁金宝,等.系统矿物学(上)[M].北京:地质出版社,1984.36~69.
Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao et al. System Mineralogy (upper) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.36~69 (in Chinese).
- [8] Vaughan D J, Craig J R. Mineral Chemistry of Metal Sulfides [M]. London: Cambridge University Press, 1978. 86~94.
- [9] Patterson D J. Zincian greenockite in stratiform lead-zinc-silver mineralization at Lody Loretta Northwest Queensland[J]. Canadian Mineralogist, 1985, 23 (1): 89~94.
- [10] Vasil-Yev V L. Saukovite, a New Zinc-and Cadmium-bearing Sulfide of Mercury[M]. Acad. Sci. USSR, Dokl. Earth Sci. Sect., 1966: 123~127.
- [11] Бурьянова Э З. К минералогии и геохимии кадмия в осадочных породах тувы[J]. Геохимия, 1960, (2): 177.
- [12] 中国科学院贵阳地球化学研究所《矿物X射线粉末手册》组. 矿物X射线粉末手册[M].北京:科学出版社, 1978: 20.
Editorial Group of Handbook of Mineral X-Ray, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Handbook of Mineral X-Ray [M]. Beijing: Science Press, 1978: 20 (in Chinese).
- [13] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M].北京:地质出版社, 1986: 56~107.
Bureau of Geological and Mineral Resources of Guizhou Province. Regional Geology of Guizhou Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986.56~107 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘铁庚,叶霖.都匀牛角塘大型独立镉矿床的地质地球化学特征[J].矿物学报, 2000, 20(3), 279~281.

- Liu Tiegeng Ye Lin. Geological-geochemical characteristics of Nujiaotang independent cadmium deposit[J].Acta Mineralogica Sinica,2000,20(3),279~281(in Chinese with English abstract).
- [15] 王华云,梁福谅,曾鼎权,等.贵州铅锌矿地质[M].贵阳:贵州科技出版社,1996,31~78.
- Wang Huayun,Liang Fuliang,Zeng Dingquan. Geology of Lead-Zinc Ore of Guizhou[M]. Guiyan:Guizhou Science and Technology Publishing House,1996.31~78(in Chinese).
- [16] Ye Lin,Liu Tiegeng. Sphalerite chemistry, Nujiaotang Cd-rich zinc deposit, Guizhou, southwest China[J].Chinese Journal of Geochemistry, 1999, 18(1):62~68.
- [17] 叶霖,刘铁庚,邵树勋.富镉锌矿的成矿流体地球化学研究—以贵州都匀牛角塘富镉锌矿床为例[J].地球化学,2000,29(6),597~603.
- Ye Lin, Liu Tiegeng, Shao Shuxun. Geochemistry of mineralizing fluid of Cd-rich zinc deposit: Taking Nujiaotang Cd-rich zinc deposit,Duyun,Guizhou for example[J].Geochimica,2000,29(6)597~603(in Chinese with English abstract).
- [18] 武汉地质学院矿物教研组. 结晶学及矿物学(下) [M].北京:地质出版社,1979.172~184.
- Mineralogical Teaching and Research Group,Wuhan Institute of Geology.Crystallography and Mineralogy [M]. Beijing:Geological Publishing House,1979.172~184(in Chinese).
- [19] 埃文思 R. C. 结晶化学导论[M].胡玉才,戴寰,新民译.北京:人民教育出版社,1987.152~196.
- Evens R. C.Guide of Crystallochemistry [M].Hu Yucai,DaiHuan Xin min, (tras.).Beijing:People's Education Publishing House, 1979.152~196(in Chinese).
- [20] 谷团.牛角塘独立镉矿床初步研究[D].中国科学院地球化学研究所硕士论文,1999,11~13.
- Gu Tuan.The preliminary study on Niu Jiao Tang Cd ore deposit. A master dissertation, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1999, 11~13(in Chinese with English abstract).
- [21] 钱逸泰. 结晶化学[M].北京:中国科学技术大学出版社,1974,166~209.
- Qian Yitai, Grystallochemistry(M).Beijin:China University of Science and Technology Press,1974.166~209(in Chinese).
- [22] 张家斌,李亚范. 地学基本数据手册[M].北京:海洋出版社,1986.539~597.
- Zhang Jiabin,Li Yafan. Handbook of Basal Data[M].Beijing: Ocean Publishing House 1986.539~597 (in Chinese).

Discovery of the complete isomorphous series of ZnS-CdS in nature and its preliminary study

LIU Tie-geng, ZHANG Qian, YE Lin, SHAO Shu-xun

(Open Laboratory of Geochemistry of Mineral Deposits, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract: It was considered before that Cd can only limitedly substitute Zn in sphalerite in nature. However, in the recent study of the relationships between Cd and Zn in the Nujiaotang cadmium-zinc deposit, Guizhou, using the electron microprobe, scanning electron microscope and transmission electron microscope, the authors have found that Cd in zinc sulfide mainly exists as an isomorphous element with its content ranging from 0.8% to 37.93%, and that likewise Zn in cadmium sulfide also mainly exists as an isomorphous element with its content ranging from 2.43% to 38.64%. Zinc sulfide and cadmium sulfide show gradational relationship, and there is a good negative correlation between Zn and Cd with a correlation coefficient of > 0.99 , forming a ZnS-CdS complete isomorphous series. This discovery has great theoretical significance and practical value not only in mineralogy but also in geochemistry and geology of mineral deposits.

Key words: zinc; cadmium; ZnS-CdS mineral series; isomorphism; Cd-Zn deposit; Guizhou