

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

广东乐昌铅锌矿床中闪锌矿的谱学特征 与形成条件*

李迪恩 彭明生

(中南工业大学, 长沙)



本文研究了乐昌沉积改造型铅锌矿床中闪锌矿的电子顺磁共振谱、吸收光谱、阴极发光光谱和红外光谱的特征及其成因意义。闪锌矿的谱学特征为矿床的形成条件、成矿阶段的划分和成矿地球化学过程的研究提供了微观依据。根据热力学计算确定了闪锌矿的稳定场的范围,探讨了矿床形成的物理化学条件和成矿溶液的性质,佐证了闪锌矿的谱学特征所提供成因信息的可靠性。作者认为乐昌铅锌矿热液改造期具多阶段性,从成矿早期到晚期,温度由高到低,成矿环境由弱碱性偏还原条件到中偏酸性偏氧化条件,成矿溶液的 f_{O_2} 、 f_{S_2} 、 f_{H_2} 、 f_{H_2S} 和 $\alpha_{HS^{-1}}$ 、 $\alpha_{SO_4^{2-}}$ 逐渐降低。

本文试图以乐昌铅锌矿为例,研究闪锌矿的谱学特征及其成因意义,进一步根据热力学计算,探讨乐昌铅锌矿的形成条件。

一、矿床地质特征

乐昌铅锌矿位于凡口-杨柳塘东西构造带西端,曲仁构造盆地北缘西段的乐昌盆地中部。矿区除一些晚期辉绿岩脉外没有其它岩浆岩。矿体主要呈层状,似层状产于石炭系下统石矸子段下部(C_{1ds_2})和孟公坳段上部(C_{1ym_2})的高碳质生物碎屑灰岩、亮晶灰岩、白云质灰岩的层间破碎带中,少数呈陡倾斜脉状产于 C_{1ds_2} 中。金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,少量磁黄铁矿、黄铜矿;非金属矿物主要为方解石,少量白云石、石英。矿物共生组合为黄铁矿、褐黑色闪锌矿(I)、方铅矿、方解石,少量磁黄铁矿,黄铜矿;黄铁矿、褐黑色闪锌矿(II)、方铅矿、方解石;黄色、桔红色闪锌矿(III)、方铅矿、方解石;红色闪锌矿(IV),方解石等 4 种类型。围岩蚀变弱,主要有方解石化、弱硅化。矿石组构既具有反映同生沉积作用特征的层纹状构造、草莓状、胶体球粒状结构,又具有反映热液作用的溶蚀、交代,甚至固溶体分离结构。

二、闪锌矿的谱学特征与成因意义

对 4 种不同类型的闪锌矿,在岩矿鉴定、X 射线结构分析和成分定量分析的基础上,

* 自然科学基金资助课题

本文 1988 年 6 月收到, 10 月改回,周健编辑。

进一步研究了其电子顺磁共振谱、吸收光谱、阴极发光光谱和红外光谱的特征。

1. 电子顺磁共振 (EPR)

在室温下用 JES-FEIX 型谱仪测定了闪锌矿粉末样的 EPR 谱(见图 1, 实验条件:

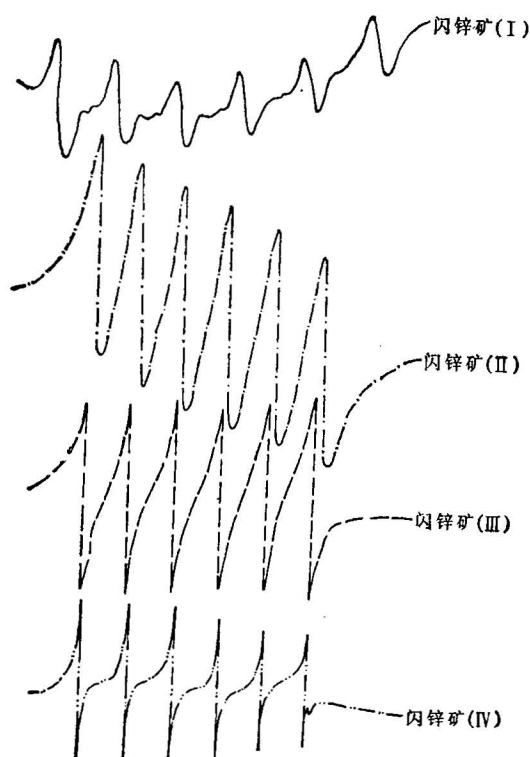


图 1 闪锌矿的电子顺磁共振谱
Fig. 1 EPR spectra of sphalerite

中心磁场和扫场范围 $3360 \pm 1000\text{G}$; 微波频率 $9450 \pm 2\text{MHz}$), 主要 EPR 参数见表 1。结果表明这是闪锌矿中 Mn^{2+} 顺磁心的 6 根超精细结构线。但闪锌矿 (I) 中的 Mn^{2+} 是呈侵入固溶体进入闪锌矿的间隙八面体中, 而闪锌矿 (II、III、IV) 中的 Mn^{2+} 是呈类质同象替换 Zn^{2+} 进入其 T_d 对称场中^[1]。

闪锌矿的 EPR 参数定性地反映了其形成条件。在室温条件下, 闪锌矿 EPR 谱的线宽与其形成温度有关。因线宽 $\Delta H = \frac{h}{g\beta} \cdot \frac{1}{T}$ (其中 T 为弛豫时间), 如果闪锌矿的形成温度越高, 顺磁离子 Mn^{2+} 与晶格的自旋-晶格相互作用越强, 自旋能级之间的能级跃迁越激烈, 则弛豫时间越短, 谱线越宽。EPR 谱线倾斜与铁的含量有关, 铁含量越高, 谱线倾斜越强, 而闪锌矿中 FeS 的含量与其形成温度和硫逸度有关。此外, EPR 谱的强度与 Mn^{2+} 的有效自旋浓度有关, 在闪锌矿中 Mn^{2+} 的浓度范围内,

EPR 谱的强度越大, Mn^{2+} 的有效自旋浓度越高, 则闪锌矿的结晶温度越低, 形成也较

表 1 闪锌矿的 EPR 参数

Table 1 EPR parameters of sphalerite

样 号	倾斜度	线 宽 ($\times 10^{-4}$ cm^{-1})	强 度	方向性	g 因子	A ($\times 10^{-4}$ cm^{-1})	共价参数 C	Mn^{2+} 存在形式	谱型 ^[1]
闪锌矿 (I)	$-5 \sim -24^\circ$	15.03	0.0065	明 显	2.0007	87.334	0.510	侵入固溶体	IV
闪锌矿 (II)	28°	12.96	0.0471	不明显	2.0014	63.478	0.73	类质同象	I ₂
闪锌矿 (III)	0	7.78	2.075	不明显	1.9979	63.166	0.73	类质同象	I ₁
闪锌矿 (IV)	0	2	0.047	不明显	1.9968	64.307	0.73	类质同象	I ₁

晚。由表 1 可知,由早阶段到晚阶段结晶的闪锌矿, EPR 谱的线宽、倾斜度减小,而强度增大。根据上面的讨论,乐昌闪锌矿的 EPR 参数反映了早阶段的褐黑色闪锌矿含 Fe 高,含 Mn 低,形成的温度和硫逸度较高,而晚阶段的黄色、桔红色闪锌矿含 Fe 低,含 Mn 高,形成的温度和硫逸度低。即从早到晚,空间上由下到上,成矿溶液由高温较还原条件向较低温偏氧化条件演化。

2. 吸收光谱

由图 2 可知,闪锌矿 (I、II) 为褐黑色,薄片为深红色,含铁 4.79—8.77%,吸收光谱中在 500nm 产生强的吸收边,这是以配位体硫的 3p 电子为特征的非键轨道 2e 到 Fe^{2+} 的晶体场型轨道的电子跃迁所产生的。闪锌矿 (III) 为黄色、桔红色,含 Fe 0.04—0.14%,吸收光谱中有 410nm 附近的强吸收边,这与闪锌矿中受主能级 Cu^+ 到导带或价带到施主能级 Ga^{3+} 的电子跃迁有关。闪锌矿 (IV) 为红色,含 Fe 0.04%,吸收光谱中除了 364nm 有一吸收边外,在 470nm 有一宽吸收带,我们认为这与样品中含其它微量元素极低,而 Hg、Ga 相对较高有关,建立的模型为受主能级 Hg^+ 到导带的电子跃迁产生 364nm 的吸收边,而到施主能级 Ga^{3+} 的电子跃迁产生 470nm 的吸收带。此外,这种红色闪锌矿样品的局部为无色,在 344nm 产生吸收边,相当于带间电子跃迁产生的本征吸收边。因此,乐昌铅锌矿中不同类型的闪锌矿具有不同的吸收光谱特征,这不但解释了其颜色,特别是红色产生的本质原因,而且为矿床成矿阶段划分,成矿物质来源的探讨,矿床形成的温度和氧化还原条件等方面提供了微观信息。因为研究表明 Ga 一般来自地层,而 Hg 来自地下深部^[2],这样从一个侧面反映了成矿物质的来源与地层有关,而成矿热卤水可能来自地下深部。

3. 阴极发光光谱

如图 3 所示,闪锌矿的阴极发光光谱表明闪锌矿 (I) 在 584nm 和 490nm 有两个发光带,发射的光为桔黄色;闪锌矿 (II、III) 在 578nm 有一个发光带,发深黄色光;闪锌矿 (IV) 在 570nm 和 505nm 有两个发光带,发黄光。闪锌矿为结晶鳞光体,578nm 附近的发光带与发光中心 Mn^{2+} 有关,而其它发光带是由自由电子与定域空穴或自由空穴与定域电子的复合产生的。同时,发光的杂质成分不同,往往只使发光带产生小的平移,而

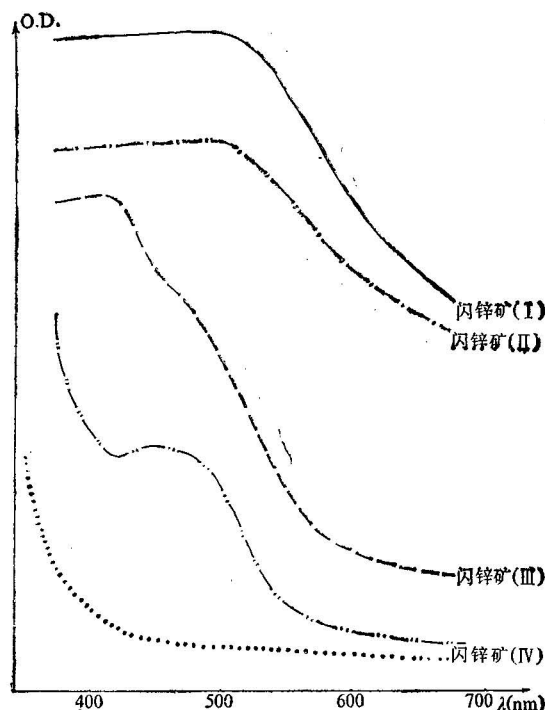


图 2 闪锌矿的吸收光谱

Fig. 2 Absorption spectra of sphalerite

当有多个发光带时,彼此相互影响也使谱带产生小的平移,这样给准确鉴定发光中心带来了困难。闪锌矿(I、IV)的阴极发光可能与其中含 Mn^{2+} 、 Cu^{+} 、 Ga^{3+} (或 Ge^{3+}) 有关。由此可以看出,不同类型的闪锌矿也具有不同的阴极发光特征,作为矿物的指纹分析方法,这揭示了闪锌矿中微量元素的差异,说明其成矿地球化学条件也略有不同,也为划分矿床的成矿阶段提供了微观依据。

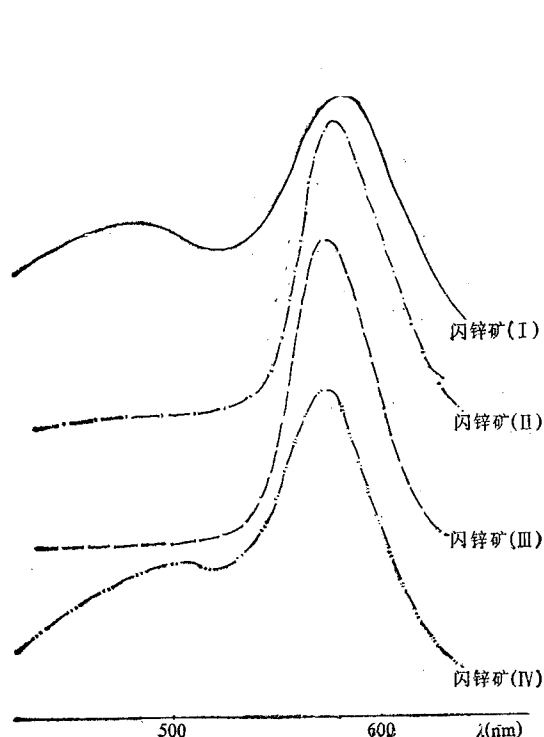


图 3 闪锌矿的阴极发光光谱

Fig. 3 Cathodoluminescence spectra of sphalerite

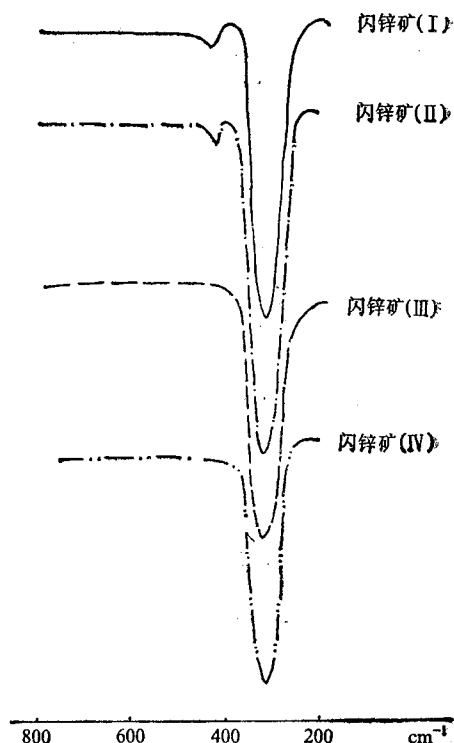


图 4 闪锌矿的红外光谱

Fig. 4 Infrared spectra of sphalerite

4. 红外光谱

用 PE-580B 型红外分光光度计测量了乐昌铅锌矿床 30 多个闪锌矿样品的红外光谱(见图 4)。所有闪锌矿样品均在 $310cm^{-1}$ 附近有一强的吸收带,且此带随铁含量的增加,振动频率略为增大。此外,闪锌矿(I、II)还在 $423-428cm^{-1}$ 有一尖锐吸收峰。根据闪锌矿的因子群与位置群相关分析及简谐振动模式计算,证明闪锌矿只有一个红外活性峰,其振动模式为 $\Gamma_{\text{振}} = F_2^{(IR)}$, 振动频率 $\nu = 304-318cm^{-1}$ 。因此,闪锌矿 $310cm^{-1}$ 的吸收峰为其本征吸收峰,而 $423-428cm^{-1}$ 的吸收峰为包裹的微细黄铁矿的振动吸收峰,这为显微镜下的观察结果所证实,反映成矿具多期性,改造期形成的闪锌矿包裹了同生沉积的细粒黄铁矿。

综上所述,闪锌矿的谱学特征不仅定性地反映了成矿的物理化学条件和地球化学特征,而且可以为矿床成矿阶段的划分提供微观依据。根据乐昌闪锌矿的 EPR 谱、吸收光

表 2 乐昌闪锌矿的谱学特征与成矿阶段

Table 2 The spectroscopic features of sphalerite and the mineralization stages in the Lechang lead-zinc deposit

期 阶段 特征			同生沉积期		热 液 改 造 期			
			同生沉积 阶段	角砾状黄铁 矿、闪锌矿、 方铅矿、方 解石阶段	条带状黄铁 矿、闪锌矿、 方铅矿、方 解石阶段	脉状桔红色 闪锌矿、方 铅矿、方解 石阶段	脉状红色闪 锌矿、方解 石阶段	方解石 阶段
矿体产状			似层状	呈似层状 产于 $C_1, \gamma m_2^2$ 层间破碎带 中	呈似层状产 于 C_1, d_{12}^2 中	呈脉状、细脉状 产于 C_1, d_{12}^2 中	呈细脉状产 于 C_1, d_{12}^2 中	呈脉状产于 C_1, d_{12}^2 中
矿物共生组合			黄铁矿、方 解石、少量 闪锌矿	黄铁矿、闪 锌矿(I)、方 铅矿、方解 石、少量磁 黄铁矿	黄铁矿、闪 锌矿(II)、方 铅矿、方解 石	闪锌矿(III)、 方铅矿、方解 石	闪锌矿 (IV)、 方解石	方解石
矿石结构构造			层纹状构造 草莓状结构	角砾状构造 溶蚀与固溶 体分离结构、 (如方铅矿 溶蚀闪锌矿)	条带状构造 溶蚀结构 (如方铅矿溶 蚀闪锌矿、 方解石溶蚀 方铅矿)	脉状构造 溶蚀结构(如 方解石溶蚀 闪锌矿、方 铅矿)	脉状构造	脉状构造
闪 锌 矿 的 谱 学 与 其 它 特 征	杂 质 元 素 (%)	Fe	9.36	8.77	4.79	0.04	0.04	
		Mn	0.1	0.0062	0.083	0.13	0.0003	
		Cu		0.026	0.18	0.1	0.009	
		Ga		0.0036	0.17	0.034	0.0015	
		Ge		0.09	0.034	0.068	<0.001	
		Hg		0.0024	0.039	0.0221	0.0246	
	晶胞参数			5.4179 Å	5.4178 Å	5.4142 Å	5.4092 Å	
	$\delta^{34}S\%$ *			~+20	~+10	~+10	~+10	
	包体温度**			230℃	200℃	145℃	~100℃	
	EPR 谱		I_2 型	IV 型	I_2 型	I_1 型	I_1 型	
	吸收光谱		500nm 吸收	500nm 吸收边	490nm 吸收边	410 nm 吸收 边,某些有470 nm 吸收带	344—364 nm 吸收 边, 470 nm 吸收 带	
	发光光谱			584nm、 490nm	578nm	576nm	570nm、 505nm	
	红外光谱		310cm ⁻¹ 、425 cm ⁻¹	310cm ⁻¹ 、 423cm ⁻¹	310cm ⁻¹ 、 428cm ⁻¹	308cm ⁻¹	306cm ⁻¹	
前人对成矿阶段的划分 ^[3]			同生沉积 阶段	铅锌黄铁矿阶段		脉状桔红色闪锌矿、方铅 矿阶段		

* 陈子龙, 1985, 广东乐昌铅锌矿区中上泥盆统, 下石炭统沉积相, 成矿作用及其相互关系分析(硕士学位论文)。

** 冶金部广东冶金地质实验研究所, 1983, 广东乐昌杨柳塘铅锌矿床成矿条件及找矿方向研究报告(内部资料)。

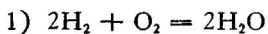
谱、阴极发光光谱和红外光谱的特征,及其地质产状与特征,矿物共生组合、矿石结构构造、闪锌矿的微量元素、晶胞参数、硫同位素和包体测温的结果,可以把成矿作用的热液改造期划分为 5 个成矿阶段(见表 2),这与前人的结果有些不同。

三、成矿物理化学条件

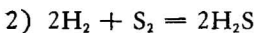
乐昌铅锌矿是以碳酸盐岩为主岩的同生沉积-热液改造的黄铁矿型铅锌矿床。如上所述,闪锌矿是该矿床的一个贯通矿物。闪锌矿的谱学特征为划分矿床的成矿阶段、研究矿床的形成条件和成矿地球化学过程提供了微观依据。为了佐证闪锌矿的谱学特征所提供成因信息的可靠性,进一步定量地探讨矿床的形成条件和成矿溶液的性质,我们对改造的热热水溶液体系进行了热力学计算。

由表 2 可知,矿床中的主要矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方解石,少量磁黄铁矿、黄铜矿、白云石和石英。矿石中未见同阶段矿物的环带结构、镶边结构和交代残余结构。因此,认为热液体系以 $\text{Zn-Pb-Fe-Ca-S-O-H}_2\text{O}$ 为特征,同时,这些矿物都是在稳定平衡的条件下结晶沉淀。成矿具有多阶段性,角砾状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方解石阶段;条带状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方解石阶段和桔黄色闪锌矿、方铅矿、方解石阶段的成矿温度分别为 230°C 、 200°C 和 145°C 。因此,对于 $\text{Zn-S-O-C-H}_2\text{O}$ 、 $\text{Pb-S-O-C-H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe-S-O-C-H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ca-S-O-C-H}_2\text{O}$ 几个亚体系,根据热力学原理计算出 230°C 、 200°C 、 145°C 和 100°C 时的 $\log f_{\text{S}_2}$ - $\log f_{\text{O}_2}$ 图和 Eh-pH 图。再根据各成矿阶段矿物共生组合特征,把几个亚体系的逸度图迭加起来,即可确定各成矿阶段矿物的稳定场范围(见图 5)。由于该红色闪锌矿比较罕见,现在还没有其形成温度的实验数据,但由图 5d 可知,在 100°C 时存在只有闪锌矿和方解石共生的稳定场,因此可以确定红色闪锌矿的结晶温度约为 100°C 。

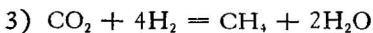
在所圈定的稳定场范围内,根据下列方程式:



$$\log f_{\text{H}_2} = \frac{-115592 + 21.2T}{2 \times 4.576T} - \frac{1}{2} \log f_{\text{O}_2}$$



$$\log f_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{-74892 + 2.6T}{2 \times 4.576T} + \frac{1}{2} \log f_{\text{S}_2} - \frac{1}{2} \log f_{\text{O}_2}$$



$$\log f_{\text{CH}_4} = \frac{-191763 + 1.23T}{4.576T} - 2 \log f_{\text{O}_2}$$

即可计算出各稳定场范围内与固相平衡的气相 H_2 、 H_2S 和 CH_4 的逸度 ($f_{\text{CO}_2} = 1$ 、 $f_{\text{H}_2\text{O}} = 1$)。同时, Eh-pH 图表明成矿热液具有由较还原弱碱性向较氧化中偏酸性演化的趋势,但几个成矿阶段的 Eh 和 pH 值变化不大,因此在各成矿阶段合理的 pH 值内 ($\alpha_{\text{H}_2\text{O}(\text{aq})} = 1$),根据反应方程式:



$$\log \alpha_{\text{HS}^-} = \frac{-97350 - 9.8T}{2 \times 4.576T} - \frac{1}{2} \log f_{\text{O}_2} + \frac{1}{2} \log f_{\text{S}_2} + \text{pH}$$

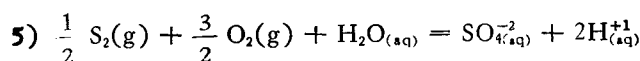
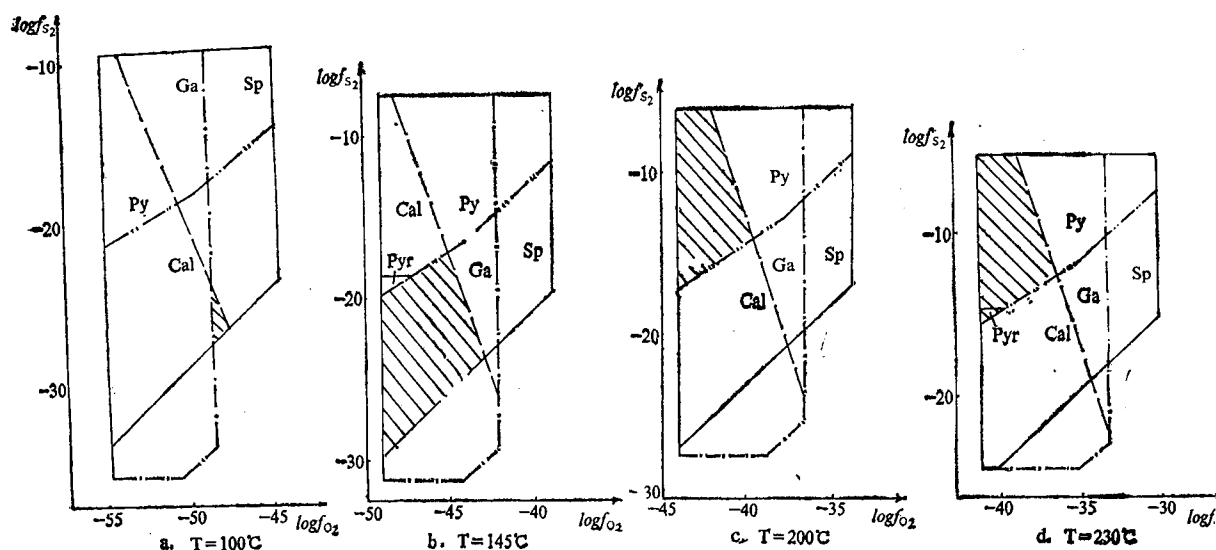


表 3 乐昌铅锌矿的形成条件和成矿溶液的性质

Table 3 The formation conditions of the Lechang lead-zinc deposit and the properties of mineralization solution

期 阶段 性质	热 液 改 造 期			
	角砾状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方解石阶段	条带状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方解石阶段	脉状闪锌矿、方铅矿、方解石阶段	细脉状闪锌矿、方解石阶段
形成温度(°C)	230	200	145	~100
pH	7.5	7	6.5	6
$\log f_{\text{O}_2}$	-40—-36.5	-44—-39.5	-49—-42.5	-48.5—-47.5
$\log f_{\text{S}_2}$	-15—-4.8	-17—-6	-30—-17	-27.5—-24.5
$\log f_{\text{H}_2}$	-4.6—-2.3	-4.7—-2.4	-6.7—-3.4	-12.6—-12.4
$\log f_{\text{H}_2\text{S}}$	-3.9—+2	-4—+1.9	-9.8—-5	-13.6—-9.3
$\log f_{\text{CH}_4}$	-10—-1	-9.3—-0.3	-15—-2	-5—-3.2
$\log \alpha_{\text{HS}^-}$	-2.5—+3.3	-3.5—+2.2	-10.5—-6.5	-15.5—-13.0
$\log \alpha_{\text{SO}_4^{2-}}$	-6.2—+0.4	-8.5—-1	-14—-2	-5.7—-4.2

注：P = 101325Pa (为1 atm)； $\log f_{\text{CO}_2} = 0$ ； $\log f_{\text{H}_2\text{O}} = 0$ ； $\log \alpha_{\text{H}_2\text{O}(\text{aq})} = 0$ 。

图 5 乐昌铅锌矿各成矿阶段热液体系的 $\log f_{\text{S}_2}$ - $\log f_{\text{O}_2}$ 图Fig. 5 The $\log f_{\text{S}_2}$ - $\log f_{\text{O}_2}$ diagrams of the hydrothermal system at different mineralization stages of the Lechang lead-zinc deposit

Py. 黄铁矿；Sp. 闪锌矿；Ga. 方铅矿；Cal. 方解石；Pyr. 磁黄铁矿

$$\log \alpha_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{164005 - 113.4T}{4.576T} + \frac{1}{2} \log f_{\text{S}_2} + \frac{3}{2} \log f_{\text{O}_2} + 2\text{pH}$$

即计算出在稳定场范围内与固相平衡的液相 HS^- 和 SO_4^{2-} 的活度, 结果见表 3。

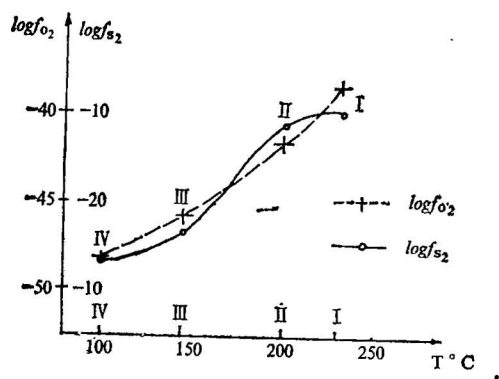


图 6 乐昌铅锌矿各成矿阶段的 $\log f_{\text{O}_2}-T$ 和 $\log f_{\text{S}_2}-T$ 图

Fig. 6 The $\log f_{\text{O}_2}-T$ and $\log f_{\text{S}_2}-T$ diagrams of all mineralization stages of the Lechang lead-zinc deposit

由表 3 可知, 成矿晚期的红色闪锌矿在低温 ($\sim 100^\circ\text{C}$) 的中偏酸性条件下形成, 这时成矿溶液的 f_{O_2} 、 f_{S_2} 、 f_{H_2} 、 $f_{\text{H}_2\text{S}}$ 、 α_{HS^-} 均较低, 稳定场的范围小, 即这种红色闪锌矿是在特定的物理化学和地球化学条件下形成的。从热力学计算的结果看乐昌铅锌矿的整个热液改造过程, 证明从成矿早期到晚期, 温度由高到低, 成矿环境由弱碱性偏还原条件到中偏酸性偏氧化条件。成矿溶液性质的演化为 f_{S_2} 、 f_{O_2} 、 f_{H_2} 、 $f_{\text{H}_2\text{S}}$ 、 f_{CH_4} 、 α_{HS^-} 逐渐降低 (见图 6)。主要铅锌矿体是在中温偏碱性, 硫逸度较高的 HS^- 优势场内形成。因此, 根据闪锌矿的谱学特征和热力学计算的结果, 可以对本矿床的热液改造成矿过程作如下推论:

地下水溶解地层中的部分硫酸盐矿物, 逐步使水溶液富 SO_4^{2-} , 在地下水沿断裂构造循环的过程中同时发生下列变化^[3]: (1) 地温作用使地下水的温度逐渐升高; (2) 由于本区在下石炭世时为局限-半局限台地相的浅水碳酸盐沉积环境, 藻类物质丰富, 在成岩后, 生物死亡产生厌氧细菌, 使溶液中的 SO_4^{2-} 还原, 形成 HS^- ; (3) 矿源层中的成矿金属元素产生活化, 转移到热水溶液中, 包裹体成分分析表明矿质以氯化物络合物形式迁移^[3]。这种富含矿质 Pb 、 Zn 和 HS^- 的热卤水在再次进入矿源层的层间破碎带时, 由于 1) 温度降低, 压力减小使络合物溶解度降低; 2) 这是一种较还原的体系, 且 $\alpha_{\text{S}^{2-}}$ 升高; 3) Pb 、 Zn 的氯化物络合物和有机质分解产生的甲烷以及方解石反应 $\text{CH}_4 + \text{ZnCl}_n^{2-n} (\text{PbCl}_n^{2-n}) + \text{HS}^- + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{ZnS} (\text{PbS}) + \text{Ca}^{+2} + n\text{Cl}^{-1} + \text{HCO}_3^{-1} + \text{H}_2\text{O}$ 使 $\alpha_{\text{Cl}^{-1}}$ 降低, 从而使闪锌矿和方铅矿沉淀。成矿作用以充填作用为主, 交代作用为辅, 主要还是由于温度、压力降低而使络合物分解, 金属矿物沉淀。这与 H. L. Barnes (1979) 的结论一致^[4]。

四、结 论

综上所述, 可以得出以下认识:

1. 根据闪锌矿的谱学和其它矿物学特征, 结合其地质产状, 可把乐昌铅锌矿热液改造期划分为 5 个阶段, 闪锌矿的谱学特征反映了矿床的形成条件。因此, 矿物谱学可以为矿床的形成条件, 成矿阶段的划分和成矿地球化学过程的研究提供重要的微观信息。

2. 热力学计算不但佐证了闪锌矿的谱学特征所提供成因信息的可靠性, 确定了乐昌红色闪锌矿的形成温度约为 100°C , 而且揭示了乐昌铅锌矿在整个热液改造成矿过程中物理化学条件和成矿溶液性质的变化规律。时间上从早到晚, 空间上由下到上, 成矿温度降低; 成矿环境由碱性较还原条件变成中偏酸性偏氧化条件; 成矿溶液性质的演化规律为 f_{O_2} 、 f_{S_2} 、 f_{H_2} 、 $f_{\text{H}_2\text{S}}$ 、 f_{CH_4} 、 a_{HS^-} 逐渐降低。

参 考 文 献

- [1] 李迪恩、彭明生, 1985, 闪锌矿的电子顺磁共振研究及其意义。中南矿冶学院学报, 第 4 期(增刊), 第 36—44 页。
- [2] 涂光炽等著, 1984, 中国层控矿床地球化学。第一卷, 第 22—30 页, 科学出版社。
- [3] 王增润、陈子龙, 1986, 广东乐昌杨柳塘铅锌矿床成矿作用分析。中南矿冶学院学报, 第 6 期, 第 6—13 页。
- [4] Barnes, H. L., 1979, *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*. 2nd ed., John Wiley Sons. New York Chichester Toronto.

SPECTROSCOPIC FEATURES AND FORMATION CONDITIONS OF SPHALERITE IN THE LECHANG LEAD-ZINC DEPOSIT, GUANGDONG, CHINA*

Li Dien and Peng Mingsheng

(Central South University of Technology, Changsha)

Abstract

Electron paramagnetic resonance spectra, absorption spectra, cathodoluminescence spectra and infrared spectra of sphalerite from the Lechang remoulded sedimentary lead-zinc deposit have been studied, which provide microscopic evidence for the formation condition and mineralization stages of the deposit as well as the geochemical processes of mineralization. On the basis of thermodynamic calculations, the stable fields of sphalerite from different mineralization stages were determined and are shown in $\log f_{\text{O}_2}$ — $\log f_{\text{S}_2}$ diagrams, and furthermore, the physico-chemical conditions of mineralization and the properties of mineralization solutions are discussed, which also verifies the reliability of the genetic information provided by the spectroscopy of sphalerite. It is suggested that the temperature and pH value of the mineralization system decrease, and so do the fugacities of O_2 , S_2 , H_2 , and H_2S and the activities of HS^- and SO_4^{2-} from the early to late stages of mineralization.

作 者 简 介

李迪恩, 男, 1962 年生。1985 年获中南工业大学地质系硕士学位。现在中南工业大学地质系担任讲师, 从事矿物学教学和研究。

通讯处: 湖南长沙中南工业大学地质系

* Project supported by the Science Fund of Academia Sinica.