

南岭泥盆系中层控铅锌黄铁矿 矿床特征及其成因系列

刘 文 均

(成都地质学院)

内容提要: 南岭泥盆系中的层控铅锌、黄铁矿矿床,在空间上受层位、岩相和构造位置的控制。不同矿床之间在矿体形态产状、矿石的物质组分、结构构造、微量元素、同位素组成和包裹体特征方面,具有系列演化特点。据此可以将这些矿床分为成岩、成岩-后生、热液叠加和混合热液等四种成因类型。它们是在控制因素相近,成矿物质来源、迁移和就位机制既有联系又逐渐演化的条件下形成的,属于同一矿床成因系列。

主题词: 南岭 泥盆系 层控矿床 成因类型 成因系列

南岭地区的泥盆系中,蕴藏有丰富的稀有和有色金属矿床,其中尤以具层控特征的铅锌、黄铁矿矿床更具特色。这类矿床点多面广规模大,著名者如粤北凡口铅锌矿矿床、红岩及西牛黄铁矿矿床,桂北的泗顶和北山铅锌矿矿床,桂中武宣地区的铅锌矿矿床,湘中的禾青、白云铺铅锌矿矿床和洪水平、铺头黄铁矿矿床等。此外如湘南的香花岭矿田(包括香花岭与泡金山铅锌矿)和东坡矿田(包括横山、蛇形坪铅锌矿和金狮岭黄铁矿),以及桂北的丹池地区(包括大厂、芒场等多金属矿田),矿田范围内虽有岩体分布,但近年的研究表明,它们也具有层控特征。

所有这些矿床都具有相同的区域地质构造特点,主要控矿因素也大致相似,即同时受层、相、位的控制。其共同特点是:

1. 矿床的产出受一定层位和岩相的控制,控矿层位主要出现在泥盆系碳酸盐岩系的下部。由于加里东运动后本区海侵是由南而北,因此泥盆系碳酸盐岩系出现的层位也由南而北逐渐升高,相应的控矿层位也随之而变化。如桂中地区以下泥盆统塘丁组或纳标组下部为主(如武宣的朋村、古立等矿床),桂北及湘中南、粤北地区以中泥盆统东岗岭组或棋梓桥组中下部为主,古陆边缘或古海岛周缘则出现于上泥盆统下部(泗顶、后江桥等矿床属之)。

2. 南岭地区泥盆系以碳酸盐岩为主,可分为浅水台地相和深水盆地相两类。由于受同沉积期基底断裂的影响,它们在空间上成北东向或北西向相间分布。已知矿床绝大部分分布在碳酸盐岩台地上,主要控矿岩相为生物礁滩相及其相邻的潮坪-泻湖相,容矿岩石以白云岩、生物礁灰岩为主。在空间上,矿床出现的空间位置总是在台地边缘、古陆边缘、碳酸盐岩与碎屑岩的过渡带,以及某些台盆的炭泥质灰岩及礁灰岩中(图1)。

3. 矿床常位于具有多期性活动特点的基底断裂带上以及隆起带边缘。这些断裂带在泥盆纪是控相的,后期活动直接控制了矿床的分布,与某些矿床有关的小侵入体也出现在这些断裂带或几组断裂带的交叉点上。

4. 矿床有成群成带出现的特点。大部分矿区没有侵入体存在,少数虽有岩浆活动,但矿床仍具层控特征。

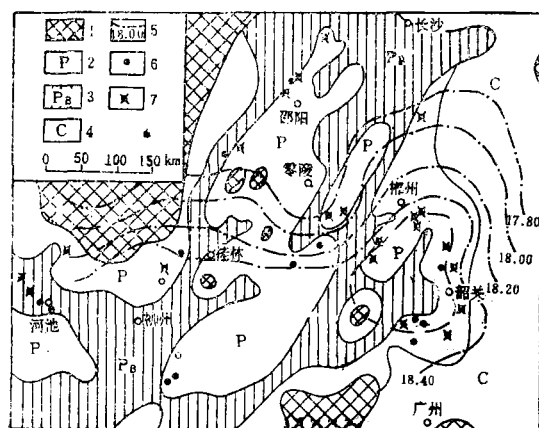


图 1 南岭泥盆系中层控铅锌及黄铁矿矿床分布与岩相古地理的关系以及矿床的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等值线图

1—古陆；2—台地；3—台盆；4—碎屑岩区；5— $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等值线；6—矿床（点）；7—采样点

Fig. 1. Sketch map showing the relationship between the distribution of stratabound Pb-Zn and pyrite deposits and lithofacies-paleogeography in Nanling region as well as $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ contours of the deposits.

1—Old land; 2—Platform; 3—Platform basin; 4—Clastic rocks; 5— $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ contour; 6—Ore deposit (occurrence); 7—Sampling point.

矿床成因特征

矿床成因主要系指成矿物质来源、迁移方式和沉积就位机制等方面的问题而言，它们一方面体现在矿床的控制因素方面，同时也表现在矿体形态产状、矿石组分、结构构造、微量元素、同位素和包裹体特征等方面。层控矿床是若干具有相同特点而具不同成因的矿床系列，是多来源多阶段多种成矿作用的产物，因此可以根据矿床成因及其内在联系，将层控矿床区分为成岩、成岩-后生、热液叠加和混合热液等四种成因类型。这种划分大体相当于通常的沉积矿床、沉积-改造（包括轻微改造和强烈改造）矿床和热液叠加矿床。海底热液喷气沉积矿床亦属层控矿床之列，但在南岭地区仅粤北大宝山一例，在此暂不予以讨论。

1. 矿体的形态产状特征

矿体的形态产状特征常常反映了矿床的形成时期和就位方式。早期成岩阶段形成的矿床，矿体形态以层状、似层状为特点，矿体与地层整合产出，同步褶皱，绝少穿层现象。成岩-后生期形成者，多呈透镜状、似层状或脉状，并与一定构造条件有关。似层状与脉状共存者，脉状矿体通常出现在层状矿体之上或边缘部分。成岩阶段形成的铺头黄铁矿矿床，便具有典型的层状构造；而禾青、白云铺、北山、红岩等成岩-后生阶段形成者则以似层状、透镜状矿体为主，泗顶、凡口及另一些有侵入体伴生的叠加或混合热液型矿床，则更多地显示了后生特点(图2)。

2. 矿石矿物组成

矿石矿物组成简单， Pb/Zn 比值低，是国内外层控铅锌矿床的共同特点，南岭地区也是这样(表1)。当

表 1 南岭泥盆系中层控铅锌矿床矿石平均品位比较表

Table 1. Average ore grades of Devonian stratabound Pb-Zn deposit in Nanling region

矿床		Pb(%)	Zn(%)	Pb/Zn	矿床		Pb(%)	Zn(%)	Pb/Zn
成岩-后生	北山	0.72	4.49	0.16	成岩-后生	锡基坑	0.53	2.84	0.19
	泗顶	2.00	6.91	0.29		后江桥	0.42	1.39	0.30
	禾青	0.54	2.14	0.25		凡口	5.50	11.17	0.40
	白云铺	0.75	2.30	0.33	叠加混合	泡金山	1.44	2.93	0.49
	古立	0.89	3.54	0.25		香花岭	2.86	2.89	0.99
	古丹	0.42	3.03	0.14		横山	2.48	4.97	0.50
	朋村	1.07	4.70	0.23		蛇形坪	3.32	2.54	1.31

矿区有侵入体存在时, Pb的品位明显增高, $Pb/Zn \geq 0.5$ 。一般无岩浆活动者, $Pb/Zn < 0.4$, 最低者仅0.14。

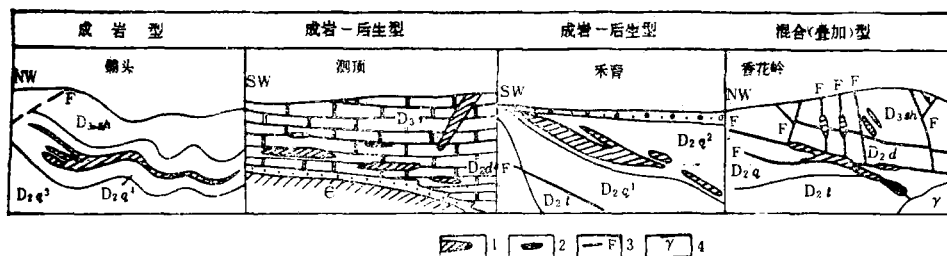


图2 不同成因类型矿床矿体产状剖面图

€—寒武系; D_{2t} —中泥盆统跳马涧组; $D_{2q}(D_{2d})$ —中泥盆统棋梓桥组或东岗岭组; $D_{2sh}(D_{2r})$ —中泥盆统余田桥组或融县组; 1—铅锌-黄铁矿矿体; 2—锡矿体; 3—断层; 4—岩体

Fig.2. Profiles showing attitude of orebodies in genetically different ore deposits.

€—Cambrian; D_{2t} —Middle Devonian Tiaomajian Formation; $D_{2q}(D_{2d})$ —Middle Devonian Qiziqiao or Donggangling Formation; $D_{2sh}(D_{2r})$ —Middle Devonian Shetianqiao or Rongxian Formation; 1—Pb-Zn-pyrite orebody; 2—Tin orebody; 3—Fault; 4—Granite body.

矿物的典型组合是黄铁矿-闪锌矿-方铅矿组合, 而且在数量上黄铁矿>闪锌矿>方铅矿。这类矿区或矿田内, 大都有可供独立开采的黄铁矿矿体存在, 如北山、泗顶、禾青、白云铺、凡口、东坡等; 或者是在同一成矿带上, 黄铁矿矿床与铅锌-黄铁矿矿床间互出现, 如湘中的城步-冷水江成矿带。

当矿区内有岩体出现时, 矿物组成除保存上述特征外, 还出现磁黄铁矿、毒砂、锡石等高温阶段矿物(矿化)。它们叠加在铅锌矿体之上(如清江), 或与铅锌矿体构成垂直或水平分带(如香花岭、丹池地区), 这种关系反映了成矿作用的叠加或混合生成方式。

不同成因类型矿床的脉石矿物组成也是有规律的, 即由简单的碳酸盐矿物到碳酸盐矿物-石英和碳酸盐矿物-石英-矽卡岩矿物组合, 而且碳酸盐矿物的成分常和围岩一致, 即灰岩中以方解石为主, 白云岩中以白云石为主。

3. 矿石结构构造

矿石结构构造是成矿作用阶段和成矿方式的重要标志。细微粒结构、纹层状构造、沉积韵律和生物交代残余构造, 以及黄铁矿的草莓状结构等, 是沉积和早期成岩阶段成矿的标志; 中细粒结构、胶状构造, 和硫化物间的交代结构、裂隙充填脉状构造, 则多是在成岩-后生阶段形成的; 而粗晶结构、溶蚀交代或固溶体分凝结构则是有岩浆热液作用的矿床的标志。南岭地区的成岩和成岩-后生层控铅锌-黄铁矿矿床中, 闪锌矿、黄铁矿一般以中细粒为主, 方铅矿的粒度大于这两者, 草莓状黄铁矿则普遍见于各矿区。在铺头, 大量草莓状黄铁矿组成密集的水平层纹, 禾青、白云铺、洪水平、金狮岭、北山、武宣、凡口等矿区, 无一不有草莓状黄铁矿, 就是在有岩体分布的香花岭矿区, 矿体边缘的浸染状矿石中也有发现^①。至于黄铁矿的纹层状和生物交代残余构造, 在这些矿区也是非常普遍的, 甚至可见到闪锌矿交代生物化石(凡口)和方铅矿交代生物化石者(横山)。此外, 在许多矿床中还见到具胶状或变胶状结构的黄铁矿所组成的球状、肾状、放射状及各种形态的同心状构造, 有的还与微粒闪锌矿组成同心互层, 泗顶矿区甚至有胶状闪锌矿呈皮壳状产出。胶状硫化物通常是在低温、高浓度和快速沉淀的条件下形成的。对于这种胶状黄铁矿的形成时期尚有不同认识, 但国外许多喷气形成的块状硫化物矿床中普遍有胶状黄铁矿存在。本区的许多矿床中, 还可见到胶状同心球状黄铁矿的核心中有草莓状黄铁矿集合体, 而球体又为粒状黄铁矿细脉切割, 说明胶状黄铁矿的形成时间不会太晚。根据硫化物间的交代关系可以看出, 它们的生成顺序是: 黄铁

① 据中南工业大学王润增

矿→黄铁矿、闪锌矿→闪锌矿、方铅矿。

4. 微量元素

硫化物中微量元素的含量决定于这些元素在成矿溶液中的浓度以及在不同硫化物中的分配系数。后者又常常是温度的函数。从已知矿床中主要硫化矿物的微量元素特征(表2)来看,闪锌矿中Cd的含量变化较

表2 南岭泥盆系层控铅锌-黄铁矿矿床中主要矿物的微量元素含量(ppm)

Table 2. Minor element contents of major minerals from Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits in Nanling region

矿床 矿物		成岩	成岩-后生								叠 加		混 合	
		铺头	洪水坪	红① 岩	禾青	白云铺	北① 山	武宣	泗① 顶	凡② 口	清江	横山	香花岭	芒③ 场
闪锌矿	Cd						1700	1290	4300	2201	2560	6364	4700	3000
	Zn/Cd						366	503.8	119.6	251	194.6	94.8	102.9	179.2
	Ga						4.5	16	4	291	5	9	1.3	5.8
	In						<0.1	0.0	0.37	<6.5	5	117	537	509
	Ga/In						>45	>16	10.8	>44.8	1	0.077	0.002	0.011
方铅矿	Ag						<10		62	1659	1583	1335	1106	
	Sb						2650		4300	1570	1704		1330	
	Bi						200		133	200	1614		11	
	Sb/Bi						13.25		32.33	7.8	1.1		120.9	
黄铁矿	Co	<1	<27.8	15	340	560	50	3	3.1	38.4	143	29	101	12.5
	Ni	4.5	93.7	46.8	1170	760	760	11	4.0	28	55	140	22.7	30.8
	Co/Ni	<0.2	<0.3	0.32	0.29	0.74	0.74	0.73	0.78	1.37	2.6	0.21	4.4	0.6

①据宋学信; ②据赖应钱; ③据王思源等。未注明者据湖南省地质研究所(以下同)

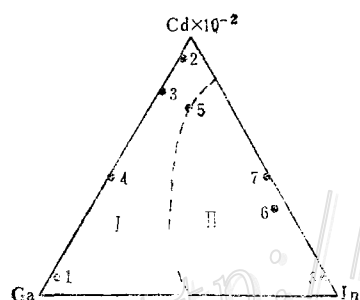


图3 闪锌矿中Cd-Ga-In的原子比例

I—成岩-后生矿床(1—凡口, 2—泗顶, 3—北山, 4—武宣); II—叠加、混合热液矿床; (5—清江; 6—横山; 7—香花岭; 8—芒场)

Fig. 3. Atomic ratio of Cd-Ga-In in sphalerite.

I—Diagenetic-epigenetic deposits (1—Fankou; 2—Siding; 3—Beishan; 4—Wuxuan); II—Telescoped, mixed hydrothermal deposits (5—Qingjiang; 6—Hengshan; 7—Xianghualing; 8—Mangchang).

大,且无明显趋势,仅在叠加和混合热液型矿床中略有升高。Ga的含量较均一,但凡口矿区出现异常。In在成岩-后生矿床中含量相对较低,而在另两类矿床中明显增高,这样Ga/In比值在成岩-后生→叠加→混合热液矿床间呈现递减关系。在Cd-Ga-In三元图(图3)中,可以根据矿区有无岩体存在区别为两个区间,叠加特征最为显著的清江矿区则处于过渡位置上。

方铅矿中Ag、Sb、Bi的含量在不同类型矿床间并没有趋势性的变化,但在空间分布上差别较大,即由湘中、桂北到湘南、粤北,Ag的含量由低到高,Sb的含量则有所降低。

黄铁矿中的Co/Ni比值常作为矿床成因的标志。已知矿床中Co、Ni的绝对含量除湘中的禾青、白云铺外一般较低,Co/Ni比值由成岩→成岩-后生→叠加→混合热液矿床而逐渐增大。成岩-后生矿床中,Co/Ni比值一般小于1,凡口是唯一的例外。在有燕山期岩体分布的东坡、横山和丹池芒场矿区,仍有许多黄铁矿的Co/Ni比值小于1,其原因可能是有与沉积作用有关的早期矿化作用存在。这种现象在热液喷气成因的大宝山多金属矿床中也可见到,其成岩成因黄铁矿的Co/Ni比值为0.26,而热液成因黄铁矿的Co/Ni比值为1.89。

5. 硫同位素组成特征

本区泥盆系中层控矿床已积累了上千个硫同位素分析数据, 现就若干典型矿床和地区的分析结果(表3)讨论如下:

表3 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿床的硫同位素组成

Table 3. Sulfur isotope composition of Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits in Nanling region

地区	矿床	类型	样数	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)			资料来源
				范围	离差	均值	
粤北	凡口	成岩-后生	118	2.02—21.3	19.78	17.49	赖应钱(1984)
	红岩	成岩-后生	68	-20.82—19.6	40.42	6.10	
	泥盆纪地层		32	-0.83—26.55			
湘南	清江	叠加	17	0.67—12.95	12.28	9.45	湖南省地质研究所
	东坡	叠加	80	1.44—13.05	11.61	9.45	
	香花岭	混合	68	-1.07—11.98	13.05	1.67	
	泥盆纪地层		14	-4.53—13.26			
桂中北	泗顶	后生	111	-26.2—8.3	34.5	-2.39	广西冶金勘探七队 陈好寿(1987) 广西地矿局 广西地矿局 陈好寿(1987)
	北山	成岩-后生	137	-22.47—9.8	32.27		
	武宣	成岩-后生	47	-21.0—7.92	28.92	-3.46	
	芒场	混合	44	-12.09—2.44	14.53	-5.28	
	泥盆纪地层			-14.65—9.36			
湘中	白云铺	成岩-后生	50	-24.81—33.28	58.09	2.46	湖南省地质研究所
	禾青		31	-27.0—4.5	31.5	-17.77	
	洪水坪		16	-26.4—5.3	31.7	-22.7	
	泥盆纪地层		44	-28.0—-4.7			

(1) 南岭泥盆系的硫同位素背景

根据地层中早期成岩矿床或分散黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值判断, 南岭不同地区的硫同位素组成是不相同的, 而且有一定的变化规律, 即由湘中→桂北→湘南→粤北, $\delta^{34}\text{S}$ 值由低负值变为高正值。据大本等的意见, 沉积物中 $\delta^{34}\text{S}$ 值的高低取决于海水硫酸盐的供应是否充分, 或者说是沉积环境闭塞程度的函数, 开放环境以负值为主, 闭塞环境以正值为主。以湖南为例, 成岩阶段形成的铺头黄铁矿矿床, 产于开放的深水台盆中, 硫酸盐补给充分, 沉积环境稳定, 因而 $\delta^{34}\text{S}$ 值以低负值为主; 而湘南地区的泥盆系绝大部分为局限的潮坪-泻湖环境, 由于补给不充分, 所形成的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值以正值为主。

(2) 层控铅锌-黄铁矿床的硫同位素组成特点

从表3、图4可以看出, 所述矿床无论属何种成因类型(或矿区有无岩体出现), 它们的硫同位素组成均与区域硫同位素背景一致, 即湘中、桂北地区的矿床以负值为主, 湘南、粤北地区的矿床以正值为主, 即使是芒场、大厂、横山、清江这些有岩体分布的矿区, 硫同位素组成仍然偏离零值而与区域变化规律一致。这一特点可能说明这些矿床的硫源有相当部分是就地取材于围岩的。

对于不同成因类型矿床而言, $\delta^{34}\text{S}$ 值的离差大小也是有差别的。一般说来, 成岩-后生矿床的离差较大, 其范围为19.78—58.09‰, 叠加及混合热液矿床的离差范围为11.61—14.53‰, 可能是在岩浆热力影响下的均一化作用所致。

(3) 不同硫化物间的硫同位素平衡效应

由于共沉淀的硫化物间已达到同位素平衡, 它们的 $\delta^{34}\text{S}$ 值常具有规律性的变化, 并可据以计算平衡温度和溶液中的总硫含量。对于铅锌矿床来说常见的变化次序是 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ 。当然, 如果它们不是共沉淀的, 硫同位素未达到平衡, 也就不会出现上述变化次序。所述矿床中, 硫化物间的硫同位素平衡状态有三种情况:

① 禾青、白云铺、北山等, 不同矿物的硫同位素组成为 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} < \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} < \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}}$, 除少部分方铅矿与闪锌矿间有共沉淀特点外, 黄铁矿与方铅矿、闪锌矿间均未达到平衡, 即非共沉淀关系。因此无法用它们来计算平衡温度并判断成矿溶液的总硫浓度。

② 酒顶、凡口等矿床的铅、锌矿物间已达到平衡, 成岩期黄铁矿与其他矿物间则未达到平衡。如酒顶

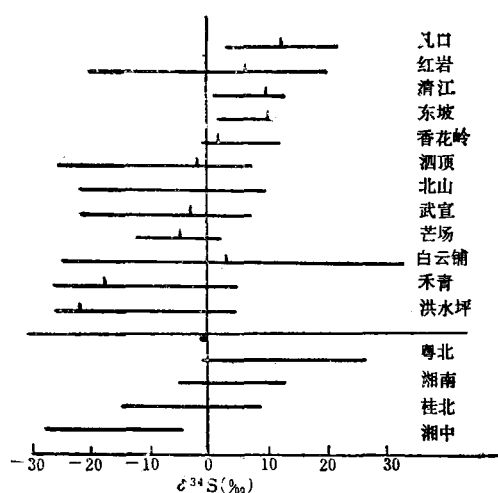


图4 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床的硫同位素组成

Fig. 4. Sulfur isotope composition of Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits in Nanling region.

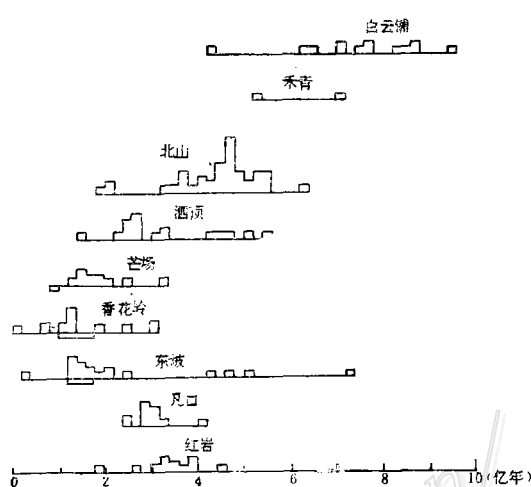


图5 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床铅同位素模式年龄频率直方图

(横线向下为岩体年龄)

Fig. 5. Histogram showing lead isotopic model ages of Devonian stratabound lead-zinc and pyrite deposits in Nanling region.

成岩期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-18.6 \sim -8.8\text{‰}$, 后生脉状者为 4.2‰ 。在这种情况下, 可以部分地利用矿物对来计算平衡温度和成矿溶液总硫量。如凡口矿区利用图解法计算出成矿溶液的总硫量为 $15.3 \sim 19.0\text{‰}$ 。

③ 叠加和混合热液矿床的硫化矿物间大部分达到平衡, 并可用来计算平衡温度和总硫量。计算结果是: 清江为 12.0‰ 左右; 横山为 $4 \sim 14\text{‰}$; 香花岭地区为 $-0.5 \sim 3.3\text{‰}$ 。

这几种平衡状态的差别, 反映出各矿床的成矿作用阶段和方式有所不同。非平衡状态可能是后生期的含铅、锌溶液与成岩期的黄铁矿(少量闪锌矿)发生交代作用而后成矿; 平衡状态则是在后生阶段以叠加作用或混合热液作用共沉淀成矿的。

6. 铅同位素组成特点

南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床的铅同位素组成, 陈好寿等作过许多的工作和总结。从几个典型矿床的铅同位素分析结果(表4)中可以看出:

(1) 这些矿床的铅同位素组成具有混合型铅特点, 少数有异常铅存在。它们在空间上具有一定的分布趋势(图1), 即湘中以低放射成因铅为主 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} < 18.00$), 向南到湘南、粤北、桂北, 放射性成

表4 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床的铅同位素组成
Table 4. Lead isotope composition of Devonian stratabound Pb-Zn
and pyrite deposits in Nanling region

类型	矿床	样数	铅同位素组成			模式年龄 (Ma)	μ 值
			$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		
成岩后生	白云铺	13	17.030—17.890	15.311—15.913	37.842—39.030	4.23—9.47	9.15—10.18
	禾青	2	17.180—17.630	15.31—15.43	37.38—38.71	5.25—7.14	9.038—9.214
	北山*	48	17.844—10.448	15.354—15.771	37.825—38.840	1.97—6.36	9.16—9.89
	泗顶*	19	18.221—18.883	15.622—16.096	38.344—40.187	1.57—5.46	9.53—10.5
	凡口*	13	18.208—18.446	15.552—15.820	38.392—39.322	2.55—4.04	9.39—9.90
	红岩*	13	18.298—18.744	15.686—15.984	38.144—38.942	1.93—4.57	9.62—10.19
叠加混合	东坡	17	18.360—18.900	15.624—16.160	37.350—40.280	0.34—5.12	9.39—10.51
	香花岭	14	18.230—18.920	15.420—15.980	38.360—39.860	0.12—3.09	9.12—10.15
	芒场*	11	18.344—18.554	15.611—15.694	38.639—38.923	1.22—3.29	9.48—9.66

*据陈好寿

因铅逐渐增高 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 18.40$)。

(2) μ 值(即 $(^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb})$ 的变化范围为 9.038—10.51。一般认为上地壳源区的 μ 值一般大于 9—10。由此可以认为所述矿床的铅来源多以壳源为主。

(3) 根据多伊(1974)的模式年龄参数计算出的不同矿区的模式年龄(图5),大多数矿床以正值为主,而且不同地区矿床的模式年龄有一定的变化范围和趋势。湘中和桂北,模式年龄多数大于 4 亿年,即大于围岩年龄;粤北以 3—4 亿年为主;叠加及混合热液矿床的模式年龄,一部分同岩体年龄,部分大于岩体年龄,香花岭、东坡及芒场等均如此。

在所有的模式年龄值中,4—8 亿年者(即相当于加里东期)占 34.5%,2—4 亿年者(即相当于海西—印支期)占 32.7%,而 1—2 亿年者(相当于燕山期)约占 29.8%。这些特点可能表明矿石铅部分来自围岩,部分与燕山期花岗岩有关,而相当部分可能与前泥盆系沉积物有关。他们可以是来自基底岩层,通过地下热水的深循环淋滤作用沿基底断裂进入泥盆系就位成矿;也可能是在泥盆纪时进入沉积物中而后活化成矿。

7. 氧及碳同位素组成

有关矿床的氧、碳同位素组成测定结果(表5)表明:叠加及混合热液矿床的氧、碳同位素值略低于成岩后生矿床;而且由湘南、粤北到湘中、桂北,矿床和围岩的氧、碳同位素值都有逐渐增高的区域性变化趋势(图6)。一般说来,海水中氧同位素值变化于 -20—0‰ 之间,碳同位素值则在 $\pm 5\%$ 之间变化。此外,氧同位素组成还受温度的影响,温度增高, $\delta^{18}\text{O}$ 值下降。因此上述的变化特点,一方面可能表明两类矿床的成矿温度有差别,同时也说明它们的氧、碳主要是来源于地层,因此与围岩有同步的区域性变化趋势。

根据为数不多的包裹体的氢、氧同位素测定结果,以及按 O'neil(1969)公式计算所得的溶液氧同位素组成(表6)表明,所述矿床成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}$ 值一般小于 5‰,即属海水或卤水来源。在 $\delta^{18}\text{O}$ — δD 图(图7)上也介于雨水线和岩浆水或变质水之间,甚至那些有岩体分布的矿区也不例外(如东坡、香花岭)。

8. 包裹体特征

上述矿床中的包裹体一般较少而小(3—5 μm),以两相包裹体为主,气液比为 5—10%。有岩体存在的矿区中包裹体略大一些,气液比亦略高(10—20%)。包裹体成分分析结果(表7)和均一法测温结果(表8)

表 5 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床中脉石及围岩的氧碳同位素组成
Table 5. Oxygen and carbon isotope composition of gangues and wall rocks
in Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits in Nanling region

样品	地区	矿 区	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$		$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$		资料来源
			范 围	均 值	范 围	均 值	
脉石	粤北	凡 口	-13.46—9.58	-12.4(6)	-8.15—-1.84	-5.99	赖应钱, 1984
	湘南	清 江	-20.96—-15.64	-18.4(3)	-3.02—-1.70	-2.49	湖南省地质研究所
		东 坡	-27.52—-17.94	-22.4(8)	-7.74—-3.32	-5.51	
		香花岭	-21.25—-18.62	-19.94(2)	-4.65—-4.39	-4.52	
	湘中	白云铺	-16.00—-10.79	-13.40(2)	-5.38—-0.18	-2.78	
		洪水坪	-12.67—-11.43	-12.0(2)	-0.2—0.12	-0.04	
	桂北	北 山	-9.98—-6.56	-8.62(3)	-2.38—0.45	-0.51	陈好寿, 1987
围岩	粤北泥盆系		-15.10—-7.60	-11.40(18)	-7.50—0.90	-3.30	中国科学院地球化学所
	湘南泥盆系		-18.59—-7.40	-11.85(39)	-5.43—2.17	-0.64	湖南省地质研究所
	湘中泥盆系		-10.91—-5.79	-9.59(11)	-0.9—0.9	0.22	陈好寿, 1987
	桂北泥盆系		-10.10—-5.20	-6.11(7)	0.6—4.43	2.25	

括号内为样品数

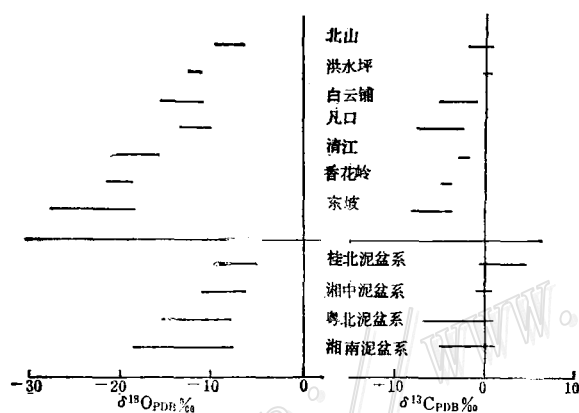


图 6 脉石及围岩 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 图

Fig. 6. $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ diagram of gangues and wall rocks.

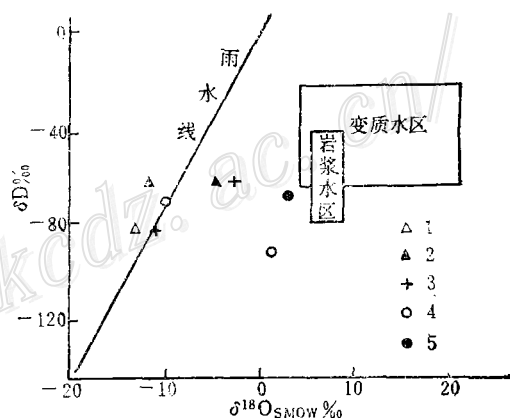


图 7 成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图

1—凡口, 2—泗顶, 3—香花岭, 4—东坡, 5—红岩
Fig. 7. $\delta^{18}\text{O}$ - δD diagram of ore-forming fluids.
1—Fankou, 2—Siding, 3—Xianghualing, 4—Dongpo, 5—Hongyan.

表明, 所述各类包裹体成分大多以高Na、Cl、Ca为特点(仅凡口矿区的K含量略高, 叠加和混合热液型矿床中F的含量也略高一些)。这一结果与 Rodder (1979) 的研究结果一致。F的增加则可能与岩浆活动有关。包裹体含盐度一般在10%以下。成岩-后生矿床的成矿温度在90—220℃左右, 叠加和混合热液矿床的成矿温度上限可达到360℃左右

表6 南岭泥盆系层控铅锌-黄铁矿矿床中成矿溶液的氢氧同位素组成

Table 6. Hydrogen and oxygen isotope composition of ore-forming fluids in Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits of Nanling region

矿床	样品	$\delta D(\text{‰})$	$\delta^{18}O_{SMOW}(\text{‰})$
凡口①	黄铁矿	-143—-79	
	闪锌矿	-38—-60	-13.4
	方解石	-61—-53	-12.3—0.1
泗顶②	闪锌矿	-82—-80	-11.5
	方解石	-62—-57	-2.6—0.9
白云铺	方解石		(-1.41)
洪水坪	方解石		(-0.22)
红岩②	方解石	-53	-4.1
泡金山	闪锌矿	-67	(4.29)
蛇形坪	闪锌矿	-87	(-0.13—1.31)
横山	闪锌矿	-74	(-10.14)
清江	方解石		(-1.41)
芒场③	石英		(1.16)

①据广东省地质研究所；②据中国科学院地球化学研究所；③据广西第七地质队；括号中数值根据脉石矿物的氧同位素值和平衡温度计算所得

层控矿床的成因系列讨论

上述这些具有成因意义的特征可总结如表9。这些矿床在成因方面既有区别又相互联系。这种区别和联系主要体现在成矿物质和成矿溶液的来源、成矿作用方式以及相对于围岩的成矿时期方面。考虑到矿石和寄岩(围岩, Host rock)在成因上的统一性, 因此, 根据盆地演化阶段和成矿作用之间的关系以及成矿物质来源的差别, 作为进一步划分层控矿床成因类型的原则和基础显然是恰当的。

成岩阶段特别是早期成岩阶段形成的层控矿床, 成矿物质主要来源于围岩, 成矿溶液为海水或成岩压实水, 因此矿体形态产状、矿物组分和地球化学特征方面, 与同生沉积作用和围岩的关系更为密切些。成岩-后生阶段形成的层控矿床, 成矿溶液以盆地中深循环的热卤水为主, 成矿物质来源不仅限于围岩, 也包括基底地层甚至新地层, 成矿作用方式以充填交代作用为主而且更多地受到构造因素的控制。而当这些矿区有岩浆活动时, 其影响可以叠加在早已形成的层控矿床之上, 因而在形态产状上保持了原有矿床的特点, 而在矿物组分和某些地球化学特征方面打下了“热液作用”的烙印。至于混合热液型层控矿床, 则是在后

表7 南岭泥盆系层控铅锌及黄铁矿矿床包裹体成分

Table 7. Composition of inclusions in Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits of Nanling region

类型	矿床	测定矿物	分析结果				资料来源
			K/Na	Mg/Ca	F/Cl	SO ₄ /Cl	
成岩-后生	北山	闪锌矿	2.15	0.42	0.029		广西地质七队
		黄铁矿	0.71	0.37	0.0007		
	泗顶	闪锌矿	0.20	0.038	0.043		曾允孚等
	凡口	黄铁矿	20.14	0.74	0.0028		广东地质研究所
		闪锌矿	5.49	0.27	0.02		
		方铅矿	4.06	0.048	0.175		
		方解石	0.18		0.027		
	白云铺	方解石	0.23	0.76		0.65	
叠加与混合	横山	闪锌矿	0.115	0.091	1.368	1.26	湖南省地质研究所
		方铅矿	1.290	0.121	0.5599		
		方解石	0.674	0.084		0.036	
	蛇形坪	闪锌矿	0.365	0.107		0.78	
	香花岭	闪锌矿	0.141	0.051	3.278	1.81	
	泡金山	闪锌矿	0.034	0.40		2.32	

表 8 南岭泥盆系层控铅锌和黄铁矿矿床的成矿温度

Table 8. Ore-forming temperatures of Devonian stratabound Pb-Zn and pyrite deposits in Nanling region

矿 区	矿 物	均一温度 (°C)	硫同位素平衡温度 (°C)	据沥青反射率计算温度 (°C)
凡口①	闪锌矿-方铅矿	152	245	
泗顶②	闪锌矿-方铅矿	175—235	90—275	165
北山③	沥青			235
白云铺	方解石	90—220		
禾 青	方解石	154		
洪水坪	方解石	135		
泡金山	闪锌矿-方铅矿		209—382	
	方解石	247		
香花岭	闪锌矿-方铅矿		212—360	
横 山	闪锌矿-方铅矿		174—355	
蛇形坪	闪锌矿-方铅矿		127—291	
	方解石	178—267		
清 江	闪锌矿-方铅矿		85—353	
芒场③	石 英	250—420		

①据广东地质研究所；②据曾允孚等；③据广西地质七队

表 9 不同成因类型层控铅锌及黄铁矿矿床的特征比较

Table 9. Characteristics of genetically different stratabound Pb-Zn and pyrite deposits

类 型 特 征	成岩矿床	成岩-后生矿床	热液叠加矿床	混合热液矿床
矿床构造	简 单	较 简 单	较 复 杂	复 杂
矿体形态	层状、似层状	似层状、透镜状、部分为脉状	透镜状、似层状、脉状	脉状及透镜状为主
矿物组合	简单，以黄铁矿为主	简单，以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主，偶有汞、锑及铜矿物；脉石矿物以碳酸盐矿物为主，偶有重晶石	较复杂，有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等，偶有少量锡石、毒砂等；脉石矿物有碳酸盐矿物、石英、萤石等	复杂，有铜、铅、锌的硫化物，黄铁矿、磁黄铁矿以及锡、钨矿物等，并有分带现象；脉石矿物为石英及砂卡岩矿物等
典型结构构造	细微粒他形至半自形结构；沉积构造发育，包括纹层状、条带状、浸染状、莓球状及生物交代残余构造	细微粒他形至半自形、胶状结构；孔隙和裂隙充填构造为主，保留有较多的沉积构造、莓球状及生物残余构造等，尚有浸染状、致密块状及细脉状构造等	中细粒半自形至自形结构、交代溶蚀及固溶体结构；脉状及致密块状构造等，保留有少量沉积构造残余	粗至细粒半自形至自形结构、交代溶蚀及固溶体分凝结构；脉状及致密块状构造等
微量元素	黄铁矿Co/Ni<0.5	黄铁矿Co/Ni≤1；闪锌矿Cd、Ge高、In低；方铅矿Sb高、Ag、Bi低	部分黄铁矿Co/Ni≤1；闪锌矿Cd、In高；方铅矿Ag高	部分黄铁矿Co/Ni≤1；闪锌矿In高；方铅矿Ag高

续表

类型 特征	成岩矿床	成岩-后生矿床	热液叠加矿床	混合热液矿床
硫同位素 组成	离散范围大, 为高正值或低负 值	离散范围大, 为高正值或低 负值; 不同硫化物间未达到平 衡, $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} < \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}}$ ($\delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$)	偏离零值, 但相对集中, 与区域 $\delta^{34}\text{S}$ 值一致; 部分 硫化物达到平衡	偏离或接近零值, 与区域 $\delta^{34}\text{S}$ 值一致, 大部分硫化物 达到平衡
铅同位素 组成	正常铅, 模式 年龄同围岩	正常铅为主, 模式年龄同围 岩或大于围岩	正常铅为主, 模式年龄 部分同围岩或大于围岩, 部分同岩体	正常铅为主, 模式年龄 部分同岩体, 部分大于岩 体
氧碳同位 素组成		与围岩相近	$\delta^{18}\text{O}$ 值小于围岩; $\delta^{13}\text{C}$ 值与围岩一致	$\delta^{18}\text{O}$ 值小于围岩; $\delta^{13}\text{C}$ 值与围岩一致
成矿温度		88—220℃	120—300℃	110—370℃
成矿溶液		Na(K)-Ca-Cl型; 大气水 与海水来源	Na(K)-Ca-Cl型; 大 气水与海水来源	Na(K)-Cl-Ca型, 富F, 大气水与岩浆水混合来源
围岩蚀变	无	退色化、白云岩化	白云岩化、硅化、大理岩化	硅化、砂卡岩化
矿床实例	铺 头	禾青、泗顶、凡口	横山、清江	芒 场

生期的混合流体的共同作用下形成的, 因之它们显示了热液矿床常见的分带性特点, 而成矿物质又具有多重来源, 而且在空间上出现在与成岩-后生矿床相似的层、相、位条件下。

由此看来, 成岩矿床、成岩-后生矿床、叠加和混合热液矿床, 应视为沉积矿床和岩浆热液矿床这两个对立成因端元之间的相互联系而又逐步演变的矿床系列。其中重要的控制因素是具有多旋回特点的加里东基底断裂。这些断裂的早期活动控制了泥盆系的沉积相, 晚期活动控制了深循环卤水的运移和矿床定位, 在某些情况下也控制了燕山期成矿岩体的空间分布和侵位, 即造成了有利于层控矿床形成的层、相、位条件。由于这些矿床是在控制因素相同, 成矿物质来源、迁移和定位机制既有区别又逐渐演变的条件下发生的, 因而属于同一矿床成因系列的产物。这就是南岭泥盆系中层控铅锌黄铁矿矿床的主要特点。

主要参考文献

- 〔1〕 曾元孚 刘文均 张锦泉等 1986 南岭泥盆系层控矿床特征及控矿条件 成都地质学院学报 第3期
- 〔2〕 刘文均 1984 湖南城步铺头黄铁矿矿床的沉积环境 沉积学报 第1期
- 〔3〕 刘文均 1986 湘中地区的泥盆系基底断裂、岩相和层控矿床 矿床地质 第3期
- 〔4〕 谢文安、刘文均 1986 湘南两类铅锌矿床的铅同位素组成特征 矿床地质 第3期
- 〔5〕 宋学信等 1985 北山铅锌黄铁矿矿床的微量元素地球化学研究 中国地质科学院矿床地质研究所所刊 第2号
- 〔6〕 陈好寿 1981 我国层控多金属矿床的铅同位素特征及其矿床成因意义 科学通报 第10期
- 〔7〕 陈好寿 1987 广西北山层控闪锌-黄铁矿矿床的稳定同位素地球化学研究 地质学报 第1期
- 〔8〕 葛朝华、韩 发 1986 大宝山铁-多金属矿床的海相火山热液成因 矿床地质 第1期
- 〔9〕 涂光炽等 1984 中国层控矿床地球化学 科学出版社
- 〔10〕 G.福尔著(潘曙兰等译) 1983 同位素地质学原理 科学出版社
- 〔11〕 Barnes, H. L. (ed.), 1979, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (Sec. ed.) . A Wiley—inter-science Publication John Wiley & Sons.

CHARACTERISTICS AND GENETIC SERIES OF STRATABOUND LEAD-ZINC AND PYRITE ORE DEPOSITS IN DEVONIAN STRATA OF NANLING REGION

Liu Wenjun

(Chengdu College of Geology, Chengdu Sichuan)

Abstract

There occur lots of stratabound lead-zinc and pyrite ore deposits in Devonian strata of Nanling region. No matter whether intrusive bodies are existent or not within them, these deposits are controlled spatially by similar stratigraphic horizons, lithofacies, and tectonic positions and show both distinction and connection in such aspects as forms and modes of occurrence of orebodies, ore composition, textures and structures, minor elements, S, Pb, O, C, H isotope composition and inclusion components which all reflect genetic characteristics of these deposits, suggesting an obvious sequential evolution relationship. These characteristics fully demonstrate their differences in sources of metallogenic materials and solutions, ore-forming styles and metallogenic epochs. In view of the fact that ores and wall rocks have the same genesis, the author, based on the relation between the evolutionary stages of the basin and the metallogenic processes as well as on the above characteristics, has grouped these deposits into four genetic types, namely diagenetic, diagenetic-epigenetic superimposed and mixed hydrothermal ore deposits. They are transitional ore deposit types connected to and progressively evolved into each other between the two end members of sedimentary deposits and magmatic hydrothermal deposits, and were formed under the condition of identical controlling factors and similar ore-forming material sources, migration and emplacement mechanism, thus belonging to the same genetic series, i. e., genetic series of stratabound ore deposits.