

论大陆地壳断裂拗陷带中的 华南型块状硫化物矿床

顾连兴 徐克勤

(南京大学地质系)

我国东南部后加里东隆起区之间,分布着若干重要的海西—印支期海相断裂拗陷带(图1)。如长江中下游、钱塘江—信江—萍乡—乐平、闽西南—粤东和韶关—四会—吴川等,这

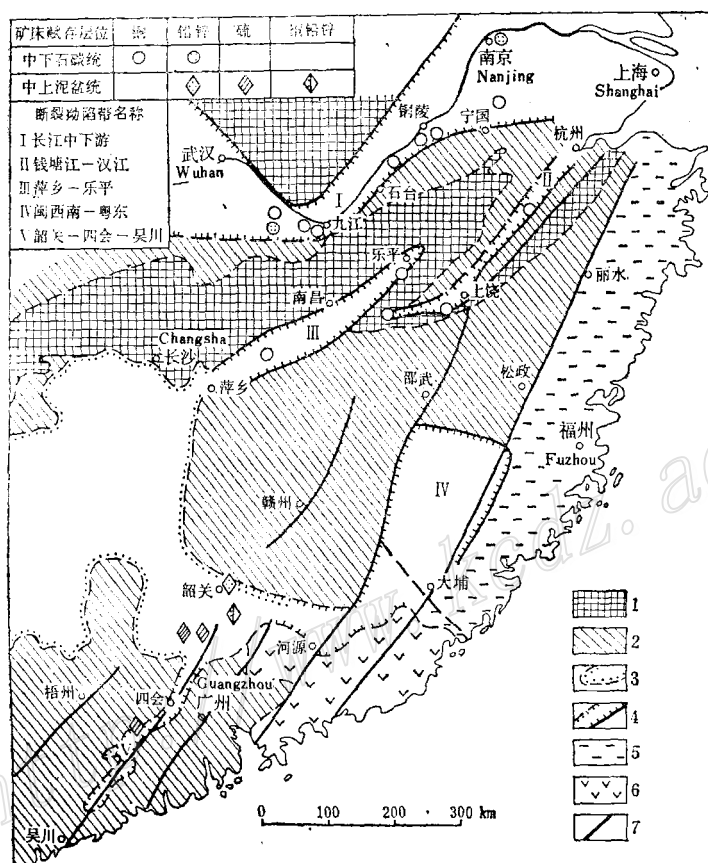


图1 华南海西—印支断裂拗陷带及块状硫化物矿床分布
(据徐克勤等, 1980)

1—前寒武纪古陆; 2—后加里东隆起; 3—海西—印支拗陷区; 4—海西—印支断裂拗陷区带;
5—海西—燕山断裂活动带; 6—燕山再生地槽; 7—深大断裂

Fig. 1. Schematic map showing Hercynian-Indosinian fractured depression belt and distribution of massive sulfide deposits in South China.

1—Precambrian old land; 2—Late Caledonian uplift; 3—Hercynian-Indosinian depression region; 4—Hercynian-Indosinian fractured depression belt; 5—Hercynian-Yanshanian fracture-depression active belt; 7—Deep-seated fracture.

些拗陷带中受泥盆、石炭纪地层控制的某些层状硫化物矿床是我国硫和有色金属的重要来源。这些矿床如江西城门山、武山、东乡、永平，安徽马山、铜官山、新桥、冬瓜山，广东大降坪、西牛、大宝山等曾长期地被看作是典型的岩浆期后热液矿床。六十年代初，孟宪民等（1963、1966）提出了同生沉积说，并把矿床附近许多燕山期侵入体均看作海相火山岩。今日视之，其观点虽过于片面，但确为我国层控矿床理论的崛起打下了一定基础。1974年，徐克勤等提出了这类矿床的沉积（或火山沉积）-热液叠加说，并从理论上更全面地阐明了矿床的多成因和成矿物质的多来源，指出了区域成矿规律和进一步找矿的远景。嗣后，在徐克勤教授和胡受奚教授的指导下，富士谷等（1977）、朱金初等（1981）、刘孝善等（1979）和顾连兴（1984）又先后研究并撰文论述了其中某些矿床的成因。

尽管如此，这类矿床的成因仍在争论。近年来，笔者对这类矿床的成因作了进一步的考察和研究，提出其为大陆地壳断裂拗陷带背景上的块状硫化物矿床（即黄铁矿型矿床），并将其特征同板块构造其它部位的块状硫化物矿床进行对比，以便进一步地完善块状硫化物矿床的板块构造成矿模式，为在大陆地壳断裂拗陷带中更有效地寻找这类矿床提供充分的理论依据。

一、区域控矿层位及矿床成分特征

华南地区经东安、雪峰和加里东运动以后，地槽发展阶段已基本结束，此后的海西—印支期沉积区分别发育于不同时代的基底之上（图1），如萍乡—乐平、信江流域和韶关—四

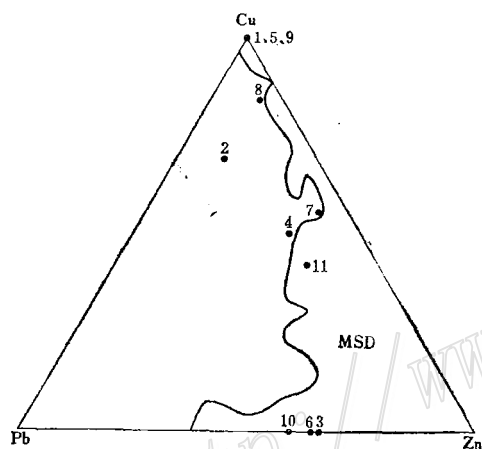


图2 华南断裂拗陷带块状硫化物矿床金属量比值分布图

（据Franklin and others, 1981）

1—铜官山；2—新桥；3—凡口；4—麻姑山；5—龙角山；6—栖霞山；7—岭后；8—东乡；9—永平；10—乐华；11—大宝山；MSD—世界块状硫化物矿床成分范围
Fig. 2. Triangular diagram showing proportion of metals in various massive sulfide deposits of the fractured depression belt in South China. 1—Tongguanshan; 2—Xinqiao; 3—Fankou; 4—Magushan; 5—Longjiaoshan; 6—Qixiashan; 7—Linghou; 8—Dongxiang; 9—Yongping; 10—Lehua; 11—Dabaoshan; MSD—Area of composition of massive sulfide deposits all over the world.

会—吴川拗陷带分别上叠于前寒武纪和前泥盆纪基底之上，而在长江中、下游和钱塘江流域，加里东运动仅表现为地壳的轻微上升，故海西—印支期沉积区具有继承性拗陷的性质。这些拗陷带的边界常为一些深断裂所限，故徐克勤等（1978、1980）称之为断裂拗陷带。

在这些拗陷带中，块状硫化物矿床分别受一定的地层层位控制。控矿层位在粤北主要是中、上泥盆统灰岩、白云岩；信江流域是下石炭统砂页岩、灰岩和中石炭统灰岩；长江中、下游主要为中石炭统白云岩。这些矿床几乎都分布在晚古生代第一个海侵岩系底部，由碎屑岩向碳酸盐过渡的部位，控矿层位南低北高，矿层在不同断裂拗陷带中显示与围岩同步穿时的

特征。

本类矿床中,可供利用的金属以铜、铅、锌为主。由图2可知,它们在矿床中的比值均落于世界块状硫化物矿床分布区之内及其附近,但与世界块状硫化物矿床相比,以铜为主的矿床铅含量较高,在东乡、永平、大宝山等矿区尚有数量可观的钨伴生,在广东省的韶关—四会—吴川一带,还存在工业价值巨大的独立的黄铁矿型硫矿床(如西牛、红岩、大降坪等)。此外,大多数矿床中都含有可供综合利用的金、银和其它稀有、分散元素,在安徽马山,金的富集还构成了独立的金矿床。

二、块状硫化物矿床的成因依据

在研究这类矿的成因时,必须充分考虑其如下特征:

1. 矿化的层控特征和矿体的层状形态

在同一断裂拗陷带中,硫化物矿层受特定的地层层位所控制。在某个具体的矿田或矿区内,这种层控特征更为显著。各矿床的主矿体均呈层状、似层状,有时与围岩同步褶皱,在走向上可顺地层稳定延伸达数公里。矿化带顺层延伸可达十几公里乃至二十余公里。关于矿化的这种层控和层状特征,徐克勤等(1978、1980)已作过详细描述。

至于层状矿体中所出现的局部膨缩,特别是新桥牛山和云浮大降坪等矿区所见到的矿体在褶皱转折端附近加厚的现象,以往常被称为岩浆热液空隙充填的证据,而笔者认为,这种膨缩形态可用硫化物的塑性流动来解释。实验证实(Gill, 1969),硫化物在较高的温度下明显地具有可塑性。所以,当块状硫化物矿层在一定地热条件下受到构造应力作用时,就可能以塑性流动的形式发生活化转移,造成矿体沿走向膨缩不定,尖灭再现,在褶皱转折端成鞍状加厚,甚至沿围岩薄弱部位贯入而形成穿刺构造。

2. 赋矿地层中的海相火山岩

笔者(1984)曾对江西武山矿区夹于硫化物矿层内的层状火成岩作了详细的岩石学研究,并用裂变径迹法测得其年龄为 $345 \pm 37\text{Ma}$,确证其为中石炭世海相英安质晶屑熔岩。

上述断裂拗陷带中除武山以外,徐克勤等(1978)、王文斌等(1981)、韩发等(1983)、刘孝善等(1983)、富士谷等(1977)、朱金初等(1981)、杨万容等(1980)和李国祥(1983)已多次报道了上古生代海相火山岩的存在。这些火山岩主要产在断裂拗陷带海相沉积岩系的底部附近,并与这些地区块状硫化物矿床的含矿层位相接近,充分表明了这些矿床与海底火山作用间密切的成因联系。

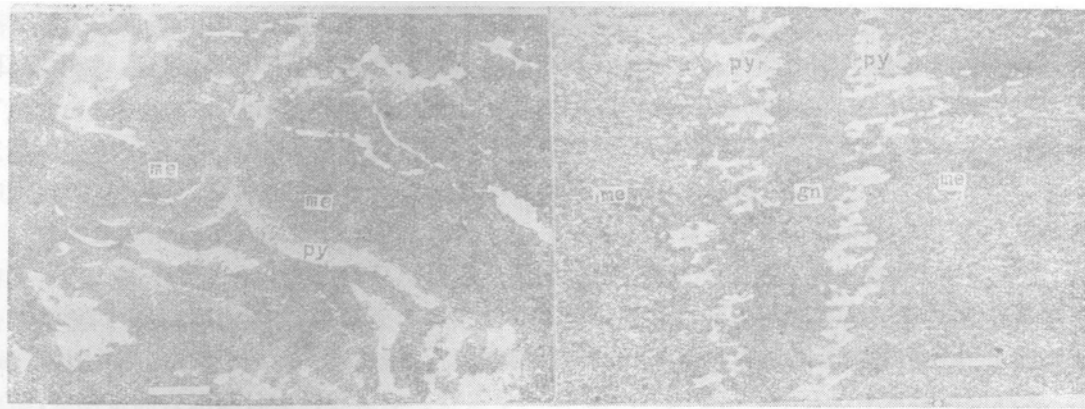
3. 与沉积和变形有关的矿石结构构造

本类矿床受成矿后区域变质作用通常较弱,因而反映矿石沉积特征的结构构造较易被保存。主要有层纹状、揉皱状、同生角砾状构造。胶状、鲕状、生物结构及各种沉积后变形结构等。徐克勤等(1978、1980)曾对这些结构构造作过全面而细致的研究。

4. 与热液沉淀相抵触的矿物共生顺序

以马山和新桥矿区为例对矿石结构的研究表明,在本类矿床层状矿体中,Fe-S-O系矿物的典型共生顺序不是热液矿床中从高温到低温的沉淀顺序,而是从低温到高温的变质反应顺序。

胶黄铁矿是最早形成的金属矿物，而黄铁矿则是重结晶的产物。黄铁矿的变晶生长首先沿胶黄铁矿的脱胶裂纹处发生（照片1），也可在胶黄铁矿基质中形成孤立的变晶或变晶集合体。当变晶生长沿后期裂隙发生时可造成黄铁矿的脉状（照片2）或网脉状穿插。



照片 1

胶黄铁矿 (me) 的平行波状构造及脱胶裂纹。黄铁矿 (py) 的重结晶作用沿脱胶裂纹首先发生 铜陵新桥 光片 标尺为2mm

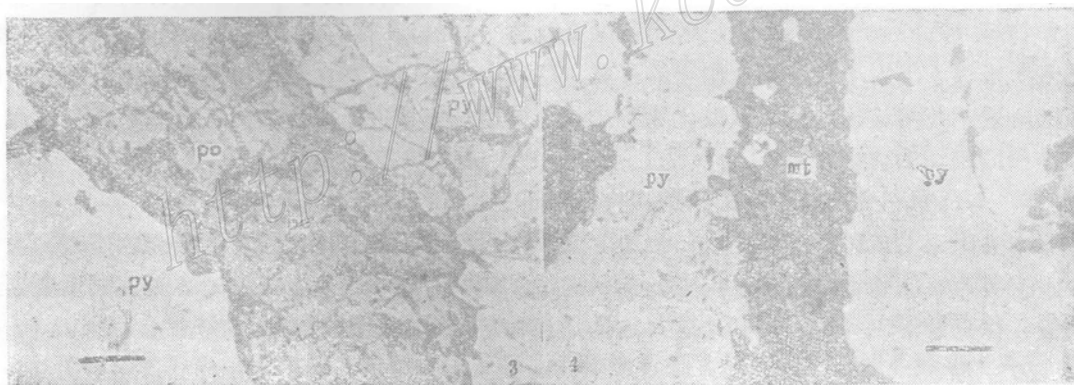
照片 2

胶黄铁矿 (me) 中的黄铁矿 (py) 脉，脉的中心为脉石矿物 (gn) 铜陵马山 光片 标尺为0.4mm

磁黄铁矿多为黄铁矿的变质产物。黄铁矿被磁黄铁矿脉穿插（照片3）或被磁黄铁矿交代成港湾状等结构十分普遍。在变质强烈之处，黄铁矿可全部被磁黄铁矿所替代而形成块状磁黄铁矿矿石。

磁铁矿常是黄铁矿和磁黄铁矿的变质产物。在光片中常可见到黄铁矿和磁黄铁矿被磁铁矿穿插（照片4），也可被磁铁矿交代成不规则状、港湾状或孤岛状。磁黄铁矿可被交代成若干个光性连续的孤岛（照片5），这些孤岛在正交偏光下呈现同时消光。

综上所述，本类矿床中Fe-S-O系主要金属矿物的生成顺序是胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄



照片 3

黄铁矿 (py) 被磁黄铁矿 (po) 脉切割 铜陵马山 光片 标尺为0.08mm

照片 4

黄铁矿 (py) 被磁铁矿 (mt) 穿插 铜陵马山 光片 标尺为0.24mm

铁矿。这是一个从低温到高温,从还原到氧化的变质反应顺序,也是本类矿床中普遍存在的一种基本趋势。

5. 特征性的矿物和岩石

胶黄铁矿、菱铁矿、石膏、硅质岩、锰质岩等海相火山作用和块状硫化物矿床的特征性组分在本类矿床中十分普遍。在有的矿段(如新桥矾头25线斜井中所见),二、三十米厚的层状矿体几乎全部由块状胶黄铁矿构成。硅质岩与胶黄铁矿和锰质沉积物反复互层的现象也屡见不鲜。在江西乐华、湖北黄梅和江西永新等地,锰质岩、菱铁矿和石膏还在块状硫化物矿床外围分别构成了独立的矿床。

6. 金属的地层学分带

过去,人们只注意到本类矿床中与岩浆热液成矿理论相一致的分带特征,而忽略了沉积成矿作用所造成的分带。

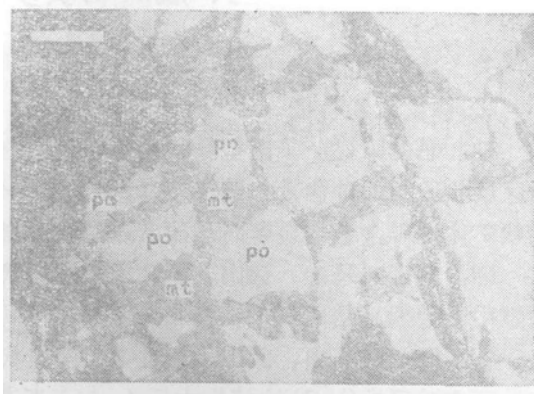
笔者的研究表明,本类矿床中最原始的分带是金属的地层学垂直分带,即金属含量随赋矿地层层位的由老到新有规律地变化。如在安徽马山矿区,铜富集于矿层下部,而铅锌富集于上部;在江西东乡矿区,下部层位的硫矿石往上渐变为铜硫矿石,最终变为含钨赤铁矿矿石。此外,在江西武山、广东大宝山、大降坪、安徽麻姑山、江苏栖霞山等矿区,地层学垂直分带均十分显著。由下部层位往上,这些矿床的分带总趋势是 $\text{Fe (S)} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow (\text{Cu, W}) \rightarrow \text{Pb, Zn} \rightarrow \text{Mn, Fe (W)}$,在矿物学上表现为黄铁矿 $\rightarrow$ 黄铜矿 $\rightarrow$ (黄铜矿、白钨矿) $\rightarrow$ 方铅矿、闪锌矿 $\rightarrow$ 铁锰碳酸盐 $\rightarrow$ 铁锰氧化物(含钨)。其形成环境均从早期的还原环境发展为晚期的氧化环境。在笔者所研究过的矿床中,尽管火成岩与矿体的空间关系各不相同,甚至有的矿区中火成岩侵入在矿层以上的层位中,但地层学垂直分带规律几乎总是如此,并不显示出与岩体的空间联系。特别有意义的是在安徽麻姑山矿区,该处含矿地层发生了倒转,层状矿体的地层学垂直分带也随之发生了倒转。

国外许多著名的块状硫化物矿床都具有类似的地层学垂直分带。这种分带显然是不同金属在水盆地中分异沉淀的产物,而传统的岩浆热液成矿论却难以圆满解释。

7. 底板岩石的矿化和蚀变

在本类矿床中,硫化物含量大于60%的块状矿石通常是层状矿体的主要矿石类型,而其下的底板砂岩中则普遍可见代表海底热液通道的浸染状、脉状乃至角砾状矿化。在新桥、铜官山和东乡等矿区,底板五通组(梓山组)砂岩中的矿化已达工业规模。在凡口矿区,海底热液沿泥盆纪古断层充填和交代的结果形成了数量可观的铅锌矿石。这类矿化常有硅化、高岭土化等蚀变与之相伴。

以上种种特征都表明,本类矿床在成因上与晚古生代海底火山作用及热泉活动有关,是海底热液注入水盆地后的沉积产物。按照 Sangster和Scott (1976),以及Franklin等(1981)的定义,这类矿床无疑应属块状硫化物矿床。笔者称之为华南型块状硫化物矿床。



照片 5

同一个磁黄铁矿(po)晶体被磁铁矿(mt)切割成光性连续四个颗粒 铜陵马山 光片 尺标为0.08mm

三、成矿物质多来源的地球化学依据

关于成矿物质来源问题,矿床的地球化学特征可提供若干依据。

1. 微量元素特征

砷:总的来说,华南型块状硫化物矿床的砷含量较高,尤以长江中、下游最为显著,该地区层状矽石的砷含量普遍在700ppm以上。个别矿区平均含量可达1—4%。在同一矿区内,层状矿体的砷含量均显著高于矽卡岩型或斑岩型矿体。

硒:笔者对马山、武山、新桥等矿区层状矿体中的黄铁矿作了硫、硒含量分析,再根据文献中的数据总结成表1。由表1可知,不同地区的矿床、S/Se比值具有较大的变异。

钴、镍:对马山、武山、新桥等矿区层状矿体中硫化物的钴、镍含量分析(表2)可知,三个矿区的Co/Ni比值均大于1,与王亚芬等(1981)得出的火山沉积矿石中Co/Ni比值大于1的结论相一致。

表1 华南部分块状硫化物矿床S/Se
平均比值

Table 1. Average S/Se ratios of parts
of massive sulfide deposits in
South China

S/Se	矿床
$<1 \times 10^4$	武山*
$1 \times 10^4 - 1 \times 10^5$	新桥*、城门山、东乡*、 永平*、大宝山*
$1 \times 10^5 - 2 \times 10^5$	马山*
$>2 \times 10^5$	凡口*、西牛*、大降坪

* 为黄铁矿单矿物样品,其余为矿石分析值;资料来源:武山、新桥、马山为本文,永平、东乡引自朱家安(1980),城门山引自黄恩邦等(1980),大宝山、大降坪、西牛、凡口引自矿区勘探报告

表2 硫化物Co、Ni含量及比值*

Table 2. Co and Ni contents and average
Co/Ni ratios in sulfides

矿区	矿物	样品数	平均含量(ppm)		Co/Ni
			Co	Ni	
武山	黄铁矿	6	19	20	3.2
马山	磁黄铁矿	10	28	10	2.9
马山	黄铁矿	8	216	17	12.6
新桥	黄铁矿	7	64	48	2.6

* Co/Ni为样品平均值;均由本所分析

2. 硫同位素特征

如图3所示,华南型块状硫化物矿床的硫同位素组成可分为三种类型:①塔式型:同位素在零值附近呈塔式分布,如武山等矿区;②正值型:以凡口为典型,其同位素富含重硫;③离散型:同位素分布甚为离散,常出现较大的负值,如大降坪等。

3. 铅同位素特征

据陈好寿(1983)的研究,华南层控矿床中最低放射性成因铅的单阶段模式年龄常与赋矿地层的时代相一致。作者1984年对马山和武山矿区的研究也得出了相同的结论。

根据研究测定结果和文献中的数据绘制了马山、凡口等矿区的铅同位素分布图(图4)。由图可知,华南型矿床中的放射性成因铅含量显著地高于塞浦路斯型和黑矿型矿床,其同位素组成除一部分位于Doe和Zartman(1979)的造山带增长曲线以下,显示其来源与上地幔

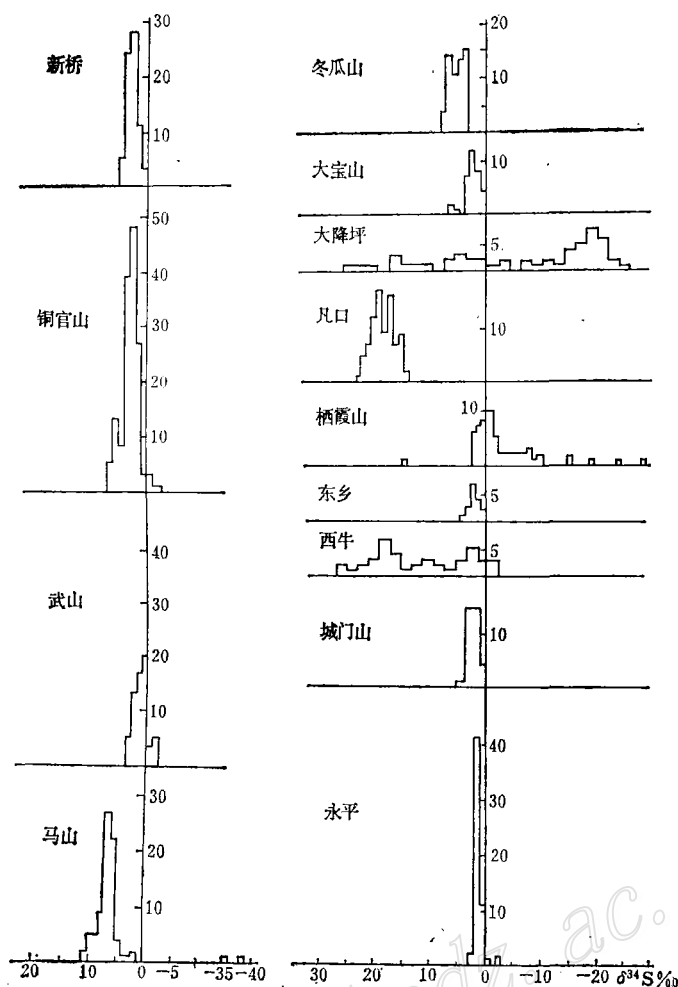


图3 华南型块状硫化物矿床硫化物的硫同位素组成频率直方图

(资料来源: 马山、武山—笔者、王秀娟、祝亚尼, 1981; 武山—笔者、周维康等, 1983; 新桥、铜官山、城门山、永平—桂林冶金地质研究所同位素室, 1979; 凡口—杨树庄, 1982; 大宝山—刘孝善, 1983; 东乡—岳文浙, 1980; 冬瓜山—刘裕庆, 1982; 大降坪、西牛—卢炳, 1980; 栖霞山—810队, 1983)

Fig. 3. Histogram of sulfur isotope compositions of sulfides from various South China type sulfide deposits.

密切有关外, 尚有相当一部分位于造山带增长曲线之上, 甚至显著高于上地壳增长曲线, 表明矿床中的幔源铅已受到大陆地壳铅的强烈污染。

由上可知, 本类矿床具有成矿物质多来源的特征。砷含量和Co/Ni比值高, 表明其来源与火山热泉有关; 最低放射性成因铅的单阶段模式年龄与赋矿地层时代的一致性, 表明矿床中的金属可能部分地来自地幔, 而矿床中放射性成因铅同位素的高含量特征, 又表明成矿溶液也从上部地壳获得了相当数量的金属; S/Se比值, $\delta^{34}\text{S}$ 的复杂性表明, 矿床中的硫除一部分可能来自深部外, 还有相当一部分来自海水硫酸盐的无机还原。在有些矿床中 (如大降坪), 生物硫的贡献也不可忽视。

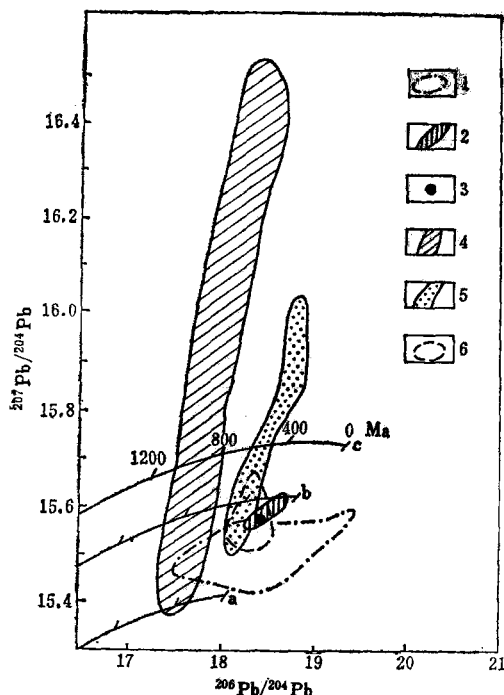


图4 若干华南型块状硫化物矿床铅同位素分布图
(仿Doe和Zartman, 1979; 马山为本文, 凡口为陈好寿, 1979和卢炳, 1980; 栖霞山为810队, 1983和叶水泉, 1983)

1—大洋玄武岩; 2—日本黑钨; 3—塞浦路斯含铜黄铁矿; 4—南京栖霞山; 5—广东凡口; 6—安徽马山

Fig. 4. Diagram of lead isotope distribution in several South China type massive sulfide deposits.

1—Oceanic basalt; 2—Kuroko in Japan; 3—Copper-bearing pyrite in Cyprus; 4—Qixiashan in Nanjing; 5—Fankou in Guangdong Province; 6—Mashan in Anhui Province.

四、华南型块状硫化物矿床的改造和叠加

华南型块状硫化物矿床形成以后,至侏罗—白垩纪,各断裂拗陷带普遍发生块断造山作用和花岗岩类的侵入活动。作为晚古生代海底火山和成矿热液通道的深断裂系统代表着地壳中的构造薄弱部位,因而燕山期花岗岩沿海底这些古老断裂侵入,并常与先存的沉积矿层直接接触,造成侵入体及热液对层状矿体的改造和叠加。徐克勤等(1982)曾指出,这些侵入体主要属同熔型花岗岩类。其改造和叠加主要表现为:

1. 层状矿体受到热变质,发生矿物相和矿物组合的转变,造成了上文中描述过的那种胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿变质反应序列,并使矿层中的钙、镁、铁、硅等组分发生高温反应而形成貌似矽卡岩的硅酸盐矿物组合。

2. 在岩体及其热液的作用下,层状矿体中的矿质可发生活化转移。活化转移可有两种途径:①岩体在深部切割块状硫化物矿层时获得了其中的矿质,使之转移至浅部成矿,如武山矿区南矿带花岗闪长斑岩体接触带附近的矽卡岩型矿体,其矿质很可能部分地来自岩体在深部所切割的硫化物矿层;②岩浆期后热液对层状矿体发生淋滤,使矿质活化转移后在新的环境下再沉淀,局部地造成后期的交切脉状矿化。

3. 岩浆热液带来的矿质(其中部分可能来自深部含矿地层中矿质的活化转移)叠加于层状矿体之上,使层状矿体变富。许多工业矿床都不同程度地受到后期改造和叠加作用。这种作用还可形成新的矽卡岩型或热液交代型矿体。在较晚阶段侵入的岩体内部还可形成斑岩型矿化。在江西武山、城门山和广东大宝山等矿区,叠加的矽卡岩型和斑岩型矿化的规模可与块状硫化物矿床相媲美。

燕山期岩浆活动对华南型矿床的改造和叠加是如此地常见和强烈,以致这类矿床曾长期地被误认为是典型的岩浆期后热液矿床。

五、华南型块状硫化物矿床的成矿板块构造背景

华南地槽褶皱区经历了东安旋回、雪峰旋回、加里东旋回的沉积作用、褶皱运动、区域变质和花岗岩类形成作用,大陆地壳已经基本成熟。此后的海西—印支期块断沉降,便在大陆地壳背景上形成了一系列的断裂拗陷带(图1)。

这些拗陷带中,海西—印支期海相地层总厚度可达五、六千米,有些地区可超过七千米。这些沉积盆地多呈狭长形,延长可达数百至上千公里。Mackenzie等(1978)认为,各种大规模沉积盆地的形成都意味着大陆岩石圈的快速拉张、地壳的厚度变薄和炽热软流圈的上拱。此时形成的火山岩以基性和偏酸性为主,典型的安山岩比较少见,也进一步指示了拗陷带的张性地质环境。

在加里东褶皱期以后,华南大陆地壳上存在着一些深大断裂,如闽西南的政和—大埔断裂,广东省的韶关—四会—吴川断裂,长江中、下游的宁国—青阳—东至—九江—洪湖断裂。这些断裂不但直接控制了海西—印支期的地壳拗陷和其内的沉积作用,还控制了断裂拗陷带的火山喷发、热泉活动和块状硫化物矿床的成矿作用。本类矿床大多在这些断裂带的附近分布。在这些矿床中,有的已确定了与块状硫化物同时代的海相火山岩(如新桥、武山、东乡等),有的迄今未见证据确凿的火山岩(如铜官山、马山)。前者与火山作用的成因联系显然已确信无疑;至于后者,倘据其海底热泉活动所留下的种种特征而将之与构造引张、地热异常等联系起来,也就不难理解其与区域上同时代火山作用的内在联系。

徐克勤等(1978、1980)曾指出,华南这些断裂拗陷带在地质背景和成矿特征上与典型的地槽区和典型的地台区均有显著差别,并将这三种构造背景下沉积的层状铁铜矿床的特征作了全面的对比。

就板块构造背景而言,Sawkins(1976)将块状硫化物矿床分成四种类型,即岛弧背景上的黑矿型,洋中脊的塞浦路斯型,板块内部活动带的苏利文型,以及构造位置尚不清楚的别子型。在地质背景上,华南型矿床可与苏利文型对比,但迄今所报道的苏利文型矿床主要是一些铅锌矿床,且这些矿床与火山活动在层位上没有或几乎没有联系(Sawkins, 1976),不像华南型那样有用金属丰富多采,工业价值如此重要,赋矿地层中的火山岩也有了可靠的地质年龄数据。所以,华南型矿床的提出为大陆地壳背景上的块状硫化物矿床提供了一个良好的实例。

至于塞浦路斯型矿床,尽管绝大多数研究者一致地认为其赋矿蛇绿岩套代表着保留下来的洋壳碎片,但对其形成时的板块构造具体部位却仍有洋中脊和边缘海之争。所以笔者建议暂把塞浦路斯型矿床只看作大洋地壳背景下的产物,而将其确切的板块构造位置留待研究。

在上述基础上,笔者将块状硫化物矿床按成矿时的地壳特征分成三种类型(图5),即大洋地壳背景上的塞浦路斯型、过渡性地壳背景上的黑矿型和大陆地壳背景上的华南型。别子型矿床的构造背景尚不清楚,其工业价值也较小,本分类中暂不纳入。

华南型块状硫化物矿床分布之广、价值之高以及成因依据之足,使人们不能不重视它们

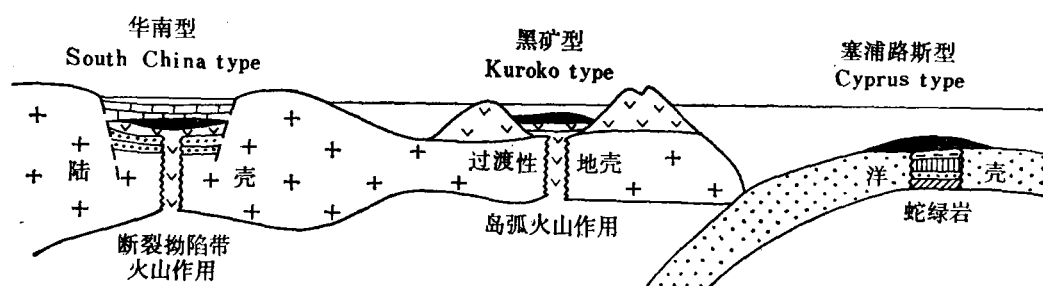


图 5 块状硫化物矿床成矿地质背景示意图

Fig. 5. Diagrammatic section showing geologic settings for the formation of massive sulfide deposits.

在矿床学中的应有地位。在国外，这类矿床除了苏利文之外，元古代的矿床还有澳大利亚的麦克阿瑟河流域 (McArthur River Valley)、欧州的麦根 (Meggen) 和腊梅尔斯伯格 (Rammelsberg)。这些大型和特大型的矿床都形成于大陆地壳的张性断裂拗陷之内。所以，华

表 3 不同类型块状硫化物矿床特征对比

Table 3. Characteristics of different types of massive sulfide deposits

对比项目		华南型	黑矿型	塞浦路斯型
地质背景	成矿地壳类型	大陆地壳	过渡性地壳	大洋地壳
	板块构造位置	陆内断陷带	火山岛弧	洋中脊或边缘海
	赋矿岩系	碎屑岩-碳酸盐岩系	岛弧火山岩系	蛇绿岩套
伴生火山作用	火山作用强度	弱	强	强
	火山岩岩性	玄武岩、英安岩、流纹岩	玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩	玄武质枕状熔岩
	火山岩厚度	小	大	大
矿床特征	主要成矿元素	Cu、Pb、Zn、Ag、Au、W、Sn	Cu、Pb、Zn、Ag	Cu
	放射性成因铅同位素含量	高	较低	低
	下盘围岩蚀变	硅化、绢云母化	硅化、高岭土化	绿泥石化
	下盘矿化	较弱	强	强
	后期岩浆热液改造与叠加	显著	不显著	不显著
	与斑岩型和矽卡岩型矿床的关系	常密切伴生	不伴生	不伴生
矿例		华南武山、马山、永平、大宝山等，加拿大 Sullivan，澳大利亚 Mt. Isa 和 McArthur River	白银厂，西麦，日本黑矿，西班牙 Rio Tinto，加拿大 Buchans 和 Bathurst	塞浦路斯 Troodos，阿曼 Semail，加拿大 Betts Cove

南型矿床不但是我国硫、铜和其它有色金属的重要来源,就世界范围而言,其工业价值也不亚于黑矿型和塞浦路斯型。

华南型矿床与黑矿型、塞浦路斯型有着许多共同特征,但因地质背景的显著差异,三类矿床必然各有其独特之处。华南型矿床形成于大陆内部断裂拗陷带。赋矿岩系是一套巨厚的陆源碎屑和碳酸盐岩系,而层状矿体则赋存在代表断陷作用初期阶段的碎屑岩向碳酸盐岩的过渡部位。断陷带中的火山活动通常较弱,火山喷发以中心式为主,火山岩仅局部分布,厚度较小,成分上以基性和偏酸性为特征,典型的安山岩较为次要。矿床中的有用金属除铜、铅、锌、金、银外,还有大陆地壳的特征元素钨(如东乡、永平、大宝山)和锡(如加拿大苏利文)。放射性成因铅同位素含量也较高。底板围岩蚀变以硅化为主,其次是绢云母化、高岭土化,反映了大陆地壳富硅富钾的地球化学特征。底板砂岩中虽也可有工业矿化,但其价值较之层状矿体远为逊色,这可能是因为华南型矿床下盘多为石英砂岩,不利于热液交代之故。另外,由于大陆地壳上多期次的花岗岩形成作用,这些矿床往往受到同熔型花岗岩类的改造和叠加,因而在这种地质背景上往往形成块状硫化物型、矽卡岩型和斑岩型矿床在小范围内共存的现象。

兹将华南型、黑矿型和塞浦路斯型矿床的特征差异对比于表3。

主要参考文献

- [1] 孟宪民 1963 矿床分类与找矿方向 矿床学论文集 科学出版社
- [2] 徐克勤、朱金初、任启江 1980 论中国东南部几个断裂拗陷带中某些铁铜矿床的成因问题 国际交流地质学论文集 第2册 地质出版社
- [3] 徐克勤、孙明志、叶俊 1982 华南两个成因系列花岗岩类及其成矿特征 桂林冶金地质学院学报 第1期
- [4] 富士谷 1977 长江中下游成矿带中石炭纪海底火山喷发-沉积黄铁矿型铜矿地质特征 南京大学学报(自然科学版) 第1期
- [5] 刘孝善、陈诸麟 1979 南京栖霞山硫化物矿床的矿石结构构造及其对矿石的成因意义 南京大学学报(自然科学版) 第4期
- [6] 朱金初、张承华 1981 江西东乡枫林石炭纪火山岩及铜镍矿床的成因 南京大学学报(自然科学版) 第2期
- [7] 陈好寿 1983 我国层控多金属矿床的铅、硫同位素研究 矿床地质 第3期
- [8] 顾连兴 1984 江西武山中石炭世海相火山岩及块状硫化物矿床 桂林冶金地质学院学报 第4期
- [9] Doe, R. R. and Zartman, R. E., 1979, Plumbotectonics, the phanerozoic. In: Barnes, H. L. ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York.
- [10] Franklin, J. M., Lydon, J. W. and Sanster, D. F., 1981, Volcanogenic massive sulphide deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. Vol., pp. 458—627.
- [11] Cill, L. E., 1969, Experimental deformation and annealing of sulphides and interpretation of ore textures. *Econ. Geol.*, 64, 500—508.
- [12] Hutchinson, R. W., 1980, Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution. In: *The continental crust and its mineral deposits*, edited by Strangway, D. W., Geological Association of Canada Special Paper 20.
- [13] Mackenzie, F. T., and Piggot, J. D., 1981, Tectonic controls of phanerozoic sedimentary rock cycling. *J. Geol. Soc.* Vol. 138, pp. 183—196.
- [14] Sangster, D. F. and Scott, S. D., 1976, Precambrian strata-bound massive Cu-Zn-Pb sulphide ores of North America. In: Wolf, K. H. ed., *Handbook of stratabound and stratiform ore deposits*. Vol. 6,

pp. 130—2222.

- [15] Sawkins, F. J., 1976, Massive sulphide deposits in relation to geotectonics. In: Strong, D. F. ed., *Metallogeny and plate tectonics*. Geol. Assoc. Canada Spec. Publ., 14, pp. 221—242.

ON THE SOUTH CHINA TYPE MASSIVE SULFIDE ORE DEPOSITS FORMED IN MARINE FAULT DEPRESSION TROUGHES ON THE CONTINENTAL CRUST

Gu Lianxing and Xu Keqin

(*Department of Geology, Nanjing University*)

Abstract

There exist, among the post-Caledonian uplifts in South China, several Hercynian-Indosinian marine fault depression troughs developed on the mature continental crust by tensional forces. In Devonian or Carboniferous sequences of these belts, there occur a number of stratiform ore deposits, such as Chenmenshan, Wushan, Dongxiang and Yongping in Jiangxi Province, Mashan, Dongguashan, Xingqiao, Tongguanshan in Anhui Province, and Dajiangping, Xiniu and Dabaoshan in Guangdong Province. These deposits were formerly considered by many authors as typical post-magmatic hydrothermal products.

Detailed field and laboratory investigations reveal that they are actually massive sulfide deposits related to upper Paleozoic submarine volcanism. Metals in the ore layers of these deposits often exhibit stratigraphical zonations which, from the bottom upwards, show a general sequence of Fe(S)-Cu-(Cu, W)-Pb, Zn-Mn, Fe(W), and the paragenetic sequence of ore-forming minerals indicate a progressive transformation from lower to higher temperature assemblages during the post-depositional metamorphism. Metals and sulfur in these deposits came from different sources. The high concentration of As in the ores and the Co/Ni ratios of pyrite higher than 1 suggest their affiliation with submarine volcanism and thermal springs and exhalations. The concordance of the single-stage model ages of the least radiogenic lead isotopes with the geological ages of the ore-bearing strata implies the mantle origin of some of the metal, whereas the high content of radiogenic lead isotopes reveals that a considerable amount of the metal was derived from the upper crust. The wide range of S/Se ratios and $\delta^{34}\text{S}$ values show that, in addition to the deep sources, the reduction of sea-water sulfates also contributed much to the sulfur in the ores, and the biogenic proces-

ses may also be postulated in some of the deposits.

In spite of the similarity in tectonic settings to the Sullivan type deposits defined by Sawkins (1976), the deposits in South China contain much more metal varieties and are associated with better dated marine volcanic rocks than those of the Sullivan type; therefore, it would be more proper to take the South China type deposits as the representatives of the massive sulfide deposits developed on continental crust.

The South China type massive sulfide deposits have a series of distinctive features in comparison with the Cyprus and Kuroko types. The trough sediments are usually predominated by great thickness of terrigenous clastics and carbonate rocks, and ore layers frequently occur in the transitional horizons from clastics to carbonates. Volcanism in these belts is relatively weak. Only thin layers of dacitic, rhyolitic and basaltic lavas and volcanoclastic rocks are found in certain places within the ore-containing sequences. Andesitic rocks are of little significance. Apart from Cu, Pb, Zn, Au and Ag, the associated metals from these deposits also include tungsten and tin which are characteristic of the continental crust. The ores usually contain relatively high content of radiogenic lead isotopes. The alterations of the underlying rocks, mainly silicification, sericitization and kaolinization, reflect the geochemical characteristics of the continental crust in which silicon and potassium were enriched. Moreover, because of the formation of multistage granites in the weak zones of the continental crust, these deposits were often transformed and superimposed by hydrothermal solutions from Mesozoic granitic rocks, especially those of the syntectonic type, resulting in the coexistence of massive sulfide deposits with ores of skarn and porphyry types in one district.

(Continued from p.42).

than their respective abundances in crustal carbonate rocks and their clark values, and also much greater than their contents in granodiorite. (Cu is 6 times, Pb 7 times, Zn 12 times and Ag 66 times higher than their respective contents in this intrusive body). This shows that the strata might provide abundant materials for mineralization.

The Cu, Pb, Zn and Ag contents are obviously lower in the near-ore wall rocks than in the corresponding wall rocks 5000m from the intrusive body, indicating the activated transfer of these elements in the ore-bearing strata. The granodiorite body serves as a heat source of this transfer.