

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

铜陵马山金矿床成因的研究

周 真

(安徽省冶金地质勘探公司地质研究所)

前人在铜陵地区做过大量的地质工作,取得了丰硕成果。然而,作为独立的贵金属矿床——马山金矿仍为区内首次发现。该矿工业类型为高砷多金属富硫化物型金矿床,目前已引起地质工作者的重视,并相继提出陆源碎屑堆积¹⁾,沉积加后期热液改造²⁾、层控³⁾、火山喷气及“卡林型”等多种成因见解,对此不想多加评述。自1978年以来笔者对矿石物质成分、金的赋存状态及矿床成因等方面进行了研究。从矿相学及岩相学入手,做了金的物相、扫描电镜、单矿物及电子探针等项分析和包体测温、岩矿微量金及硫、铅同位素等项测试工作。在分析测试资料的基础上,综合野外成果,认为该矿是与深部岩浆有关的高一中温热液矿床。

一、矿床地质背景

矿区大地构造位置属扬子准地台下扬子凹陷沿江台褶断带的中段。马山金矿位于铜官山不对称背斜转折端靠近轴部的东南翼,天鹅抱蛋山岩体的东侧。地表仅出露二叠系,深部经占孔揭露有泥盆、石炭系。主要地层及岩性见图1。

主要断裂有北北东向、北西向和北东向的三组层间裂隙,具多期活动的特点,对岩体和矿体的形成有明显的控制作用。

天鹅抱蛋山岩体出露面积仅0.8平方公里,地表略呈“人”字形,向南东方向超覆于二叠系栖霞组之中(图2,3),经研究证实为多次侵入的复式杂岩体,主体为石英闪长岩。钾-氩法全岩年龄为143百万年⁴⁾,属燕山早期。岩体为中—浅成相小岩株,其演化系列为闪长岩→石英闪长岩→花岗闪长岩→微文象白岗岩。近年来根据卫片、航片及物探重磁异常等资料分析,认为该岩体与铜官山、金口岭及虎山等邻近的中酸性小岩株都是深部大岩浆房的同源派生产物。

岩体中的石英闪长岩具中—细粒花岗结构、闪长岩具柱粒状结构、白岗岩具微文象结构;致

系	统	地层名称	代号	柱状图	矿化层位		厚度 (m)	主要岩性
					主	次		
第四系		近代堆积	Q				0-20	粘土夹砂砾
二叠系	上统	龙潭组	P ₂ l				60 90	页岩夹砂岩,顶部夹炭质页岩
	下统	孤峰组	P ₁ f				20 30	硅质岩、硅质页岩、含锰页岩
		栖霞组	P ₁ q				180 260	石灰岩 含燧石灰岩及沥青质灰岩
石炭系	上统	船山组	C ₃ c				10 20	厚层状块状石灰岩、球状灰岩
	中统	黄龙组 上段	C ₂ h ²				30	厚层状块状石灰岩
		下段	C ₂ h ¹				35	
		白云岩	C ₂ b				7 20	厚层块状白云岩
	下统	高丽山组	C ₁ s				12 20	砂页岩 粉砂岩
泥盆系	上统	五通组	D ₃ w				不全	石英砂岩、石英岩

图1 马山金矿区地层柱状剖面图

1) 林文通, 1980, 在全国第一届矿床矿物及成因矿物学会议上的发言,

2) 戴瑞榕、刘成刚, 1979, 全国第二届矿床会议资料。

3) 陈柏林, 1979, 铜陵地区铜矿床成因因素分析。

4) 冶金工业部地质研究所测定。

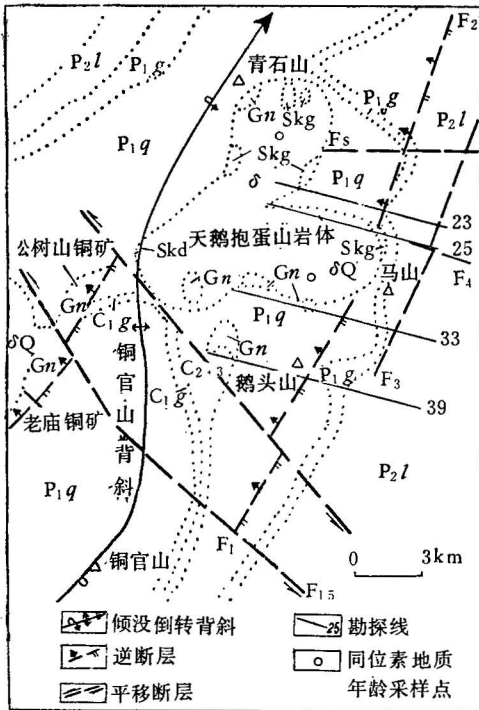


图 2 马山金矿地质略图

(据安徽冶金地质勘探公司812地质队资料)

P_2l —龙潭组; P_1g —孤峰组; P_1q —栖霞组; C_{2+3} —黄龙、船山组; C_{1g} —高骊山组; D_3w —五通组;
 δ —闪长岩; δQ —石英闪长岩; Sk_g —石榴子石砂卡岩; Sk_d —透辉石、砂卡岩; Gn —铁帽; F_1 —断层编号

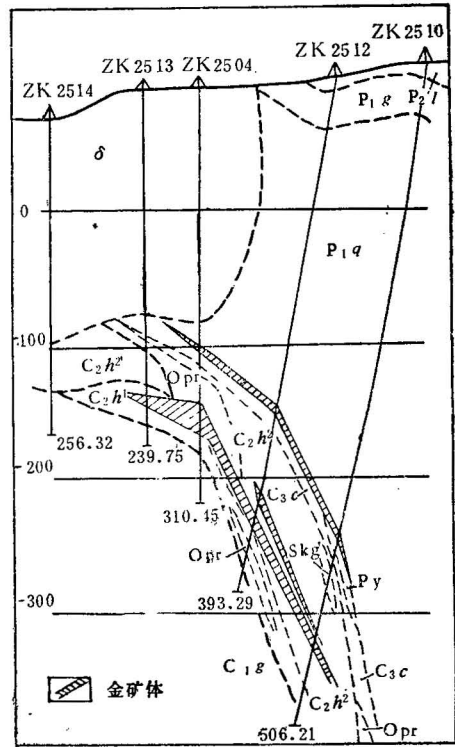


图 3 25线剖面图

(资料来源同图2)

P_2l —龙潭组砂页岩; P_1g —孤峰组硅质岩; P_1q —栖霞组灰岩; C_{3c} —船山组大理岩; C_2h^2 —黄龙组上段大理岩; C_2h^1 —黄龙组下段白云石大理岩; C_{1g} —高骊山组砂页岩; δ —闪长岩; Sk_g —砂卡岩; Py —黄铁矿; Opr —磁铁矿

密块状、角砾状及脉状构造。石英中见多相包裹体。斜长石具纳氏、卡纳复合、巴温诺双晶等,多显正常韵律环带。钾长石三斜度 $\Delta=0.1-0.22$;斜长石有序度 $\delta=0.6-1$,根据J. C. Stormer二长石温度计方法计算,岩石的古温度为 200°C ,说明岩浆是在缓慢的结晶条件下凝固的。但在有的薄片见到斜长石不仅其不同环带的成分变化很大,而且双晶两部分的成分也不一致,甚至有序度变化也很大。这显示出岩浆在总的结晶过程中有物理化学条件的局部改变和同化混染作用的影响。再根据C. I. P. W. 标准矿物计算,Or-Ab-Q三矿物均投在低温共结圈内,显示出典型的岩浆成因特征。

各类岩石化学平均成分计算,岩浆从属于岛弧型钙碱性演化系列。Rittmann指数为 $3.20-1.68$; $s=69.4-83.9$; $a=14.61-12.6$; $c=4.58-0.7$; $b=12.13-2.8$; $D.I=56-93$ 。岩浆演化由富镁到贫镁;由富钠到富钾;钾-硅呈线性演变;岩石由老到新,由中性到酸性。其中浸染状硫化物经硫同位素测定 δs^{34} 为 $+5.11\%$;明显低于壳型硫($\delta s^{34}>+15\%$),说明硫为岩浆分异体。副矿物组合为磁铁矿-磷灰石-榍石-锆石-锡石-刚玉型。磁铁矿的含量高达 $0.5-1.76\%$,与石原舜三研究之日本磁铁矿型(含磁铁矿 $0.1-2\%$)极相似, $K_2O/Na_2O=0.86$,岩石成因类型应属同熔型。磁铁矿经试金分析含金 194ppb 。其中石英闪长岩经测定铜 30ppm ; 锌 50ppm ; 铅

0.01ppm；金30ppb¹⁾，高于同类岩石金的丰度值8倍，对金具有明显的成矿专属性。接触带矿体普遍有金矿化（含金0.5—1克/吨）。

马山金矿主要由赋存在外接触带中的矿体所组成。主要赋矿围岩为各种大理岩，矿体与围岩二者为突变的接触关系。在1200米长的矿化带内发现10多个含金硫铁矿体，呈似层状、透镜状及分枝脉状，有膨大收缩、尖灭再现的现象；矿体内部见有大理岩角砾（照片1）、矿脉斜切围岩层理（照片2），表明矿体明显受裂隙构造所控制。在块状硫铁矿体内部可圈出10多个金矿体，其中主矿体有的在其顶、底板附近；有的和顶、底板基本吻合；有的在顶、底板之间断续分布（图3）。

在矿体内见有不同阶段的矿脉相互穿插切割，表明了马山金矿经历了多阶段“脉动”式的活动过程²⁾。由于多阶段成矿物质在空间上的叠加，造成矿石的矿物成分较为复杂、共生组合多变。矿物共生组合及其生成顺序见表1。菱铁矿化、白云石化、白铁矿化及铁闪锌矿化，它们在金矿化的关系密切。矿石中磁铁矿、黄铁矿、毒砂等金属硫化物约占90%以上，而石英、白云石等脉石矿物只占10%以下。经多元素查定，除主元素金、硫外，尚有砷、铜、银、锌、铋、铅等均已达到综合回收指标。

表1 马山金矿热液期矿化阶段及主要矿物生成顺序表

矿 物	矿化阶段	粗晶黄铁矿- 磁黄铁矿	细粒黄铁矿-毒砂	胶状黄铁矿	多金属硫化物	碳 酸 盐
辉 钼 矿	—					
黄 铁 矿	—	—	—		—	
石 英	—		—	—	—	—
磁黄铁矿	—	—	—		—	
毒 砂	—	—	—		—	
黄 铜 矿	—		—		—	
自 然 金	—		—		—	
胶状黄铁矿	—			—		
方 铅 矿	—				—	
碲 铅 矿	—				—	
铁 闪 锌 矿	—				—	
含银自然金	—				—	
白 铁 矿	—				—	
菱 铁 矿	—		—		—	
银 金 矿	—		—		—	
白 云 石	—		—		—	—
方 解 石	—					—
玉 髓	—					—

二、矿床成因问题

1. 控矿、容矿构造

马山金矿位于铜陵至南陵县戴家汇近东西向深大断裂与铜官山背斜交汇部位，矿体产于背斜近轴部的东南翼单斜岩层中。此深大断裂为矿区岩浆和矿液运移的通道。在铜官山背斜褶皱晚期，背斜南东翼发育一组北北东向断层（F₁和F₂）及层间裂隙（图2），即为本矿床的容矿构造，是矿

1) 中国地质科学院南京地质矿产研究所测定。

2) 周真，1982，铜陵马山金矿床矿石物质成分及金的赋存状态。

液聚集及沉淀的场所。

2. 成矿物质来源

铜陵地区成矿物质来源问题争论已久,笔者试图从地层和岩体中微量金、稳定同位素测定资料来探讨马山金矿的成矿物质来源。

(1) 金在矿区各类岩石中的分布性状

在矿区岩体和主要赋矿围岩中共采集代表性样品55个,微量金测定结果见表2。

表 2 矿区地层、岩体微量金测定结果表

顺 序 号	采 样 部 位	样 品 数	含 金 量 (ppb)	
			分 布 范 围	平 均
1	栖霞组灰岩	15	<2(14个样); 5(5个样)	2.2*
2	船山组灰岩	5	<2	<2
3	黄组灰岩	6	9(2个样); 3(1个样); <2(3个样)	4.5
4	黄组白云岩	6	5(2个样); 4(1个样); <2(1个样)	2.8
5	高骊山组角闪岩	4	2—6	5
6	五通组石英岩	1	2	2
7	闪长岩类	91	2—30	9.8

注:本表数据由吉林冶金地质研究所用A-650型原子吸收光谱测定。精度为2ppb。

* 地层中微量金平均计算时,<2ppb的均按2ppb参加计算。

金的地壳丰度值是很低的,据黎彤教授计算为3.5ppb,为了便于对比,将地壳中各类岩石金的丰度值编制成表3。对比表2和表3,可以看出马山金矿主要赋矿地层中微量金含量均低于地壳中同类岩石标准,无含金特高的地层层位。在碳酸盐岩地层中出现含金9ppb的个别样品,系热液黄铁矿化(肉眼可见黄铁矿、 δs^{34} 为正值)所引起的。因此,本区从泥盆系到二叠系不可能是金的矿源层。然而,矿区闪长岩类杂岩体平均含量为9.8ppb,比地壳或同类岩石丰度值(3.2ppb)高了3倍多;比矿区地层平均值高4倍多。因此,本区金的主要来源应是岩浆。

表 3 地壳中各主要类型岩石金的丰度值表

岩 石 类 型	样 品 数	平均值 (ppb)	岩 石 类 型	样 品 数	平均值 (ppb)
砂岩和粉砂岩	105	3.0	花 岗 岩	310	1.7
深海沉积物	28	3.4	花岗闪长岩	380	3.0
角 闪 岩	43	8.5	正 长 岩	19	1.8
石 英 岩	2	4.5	闪 长 岩	261	3.2
碳酸盐岩	50	1.9	辉 长 岩	580	4.8

注:本表据K.H.Wedepohl^[12],表76-k-3;表76-E-3;表76-M-2。

(2) 硫同位素特征

在矿区共采集硫化物样品72个,其中矿体59个、地层5个、岩体8个。测试结果见表4,5,6。

上述测试结果,并结合镜下研究表明,自然金大多嵌布在硫化物裂隙、晶隙中或呈次显微状包体包裹于其中。硫化物是本矿床金的载体矿物和富集矿物,因此硫的来源即为金的来源。

矿体中硫同位素变化区间窄,为+4.65—+10.4‰,绝对值小(+5.8),平均值为+6.39‰,

表 4 矿体硫同位素一览表

矿物名称	磁黄铁矿	黄铁矿	胶状黄铁矿	方铅矿	铁闪锌矿	黄铜矿	毒砂	合计
样品数	31	16	3	2	2	1	4	59
变化区间 δS^{34} (‰)	4.56—8.2	4.56—9.6	5.7—8.2	5.7—8.1	6.5—9.9	5.12	5.0—10.4	4.56—10.4
平均值 δS^{34} (‰)	6.1	6.36	6.73	6.9	8.7	5.12	7.52	6.39
S^{32}/S^{34}	22.085	22.079	22.021	22.068	22.028	22.108	22.054	22.079

注: 1980年8月吉林冶金地质勘探研究所测定。

表 5 矿区地层硫同位素一览表

采样位置	地 层	测定矿物	测 定 结 果	
			δS^{34} (‰)	S^{32}/S^{34}
CK004孔	栖霞组	黄铁矿	-29.6	22.90
黄狮涝山	船山组	黄铁矿	-13.0	22.51
CK501孔	黄龙组	黄铁矿	-35.4	23.04
CK004孔	高骊山组	黄铁矿	-33.3	22.99
CK501孔	高骊山组	黄铁矿	-25.3	22.29

注: 1980年10月吉林冶金地质勘探公司研究所测定。

表 6 矿体、岩体、地层硫同位素对比表

样品名称	样品数	变化范围 δS^{34} (‰)	平均值 δS^{34} (‰)	S^{32}/S^{34}
矿 体	59	4.56—10.4	6.39	22.079
岩 体	8	3.41—8.7	5.11	22.107
地 层	5	-13—-35.4	-27.3	22.844

标准离差为1.07, 较陨石硫略富集 δS^{34} , 呈不大的正向偏离。据矿体 59 个样品所做的频率直方图良好的塔式效应(图4)。显示硫为深源型。即来源于地壳深部同熔岩浆或上地幔。

在主要赋矿围岩地层中采集人工重砂大样, 富集其中浸染状黄铁矿, 经测定其 δS^{34} 皆为负值(表5)。以极端富集 δS^{32} 和离散度大为特征, 变化区间在-13.0—-35.4之间, 平均值为-27.3‰。 $(S^{32}/S^{34}=22.84)$, 其反映了外生条件下生物细菌作用的结果^[2]。

岩体中采集的 8 个浸染状黄铁矿样品, 其 δS^{34} 变化区间在+3.41—+8.7之间, 平均值为+5.11。由表 6 和图 5 可以看出岩体与矿体的 δS^{34} 平均值(+6.39)相近, 显示出二者的亲缘关系, 即硫为同源的。然而, 地层中的硫同位素与前二者截然不同, 具明显的外生条件下生物硫特征^[3]。从而可以确认, 矿石硫主要来源于地壳深部的同熔型岩浆, 而不是主要来源于地层。

天鹅抱蛋山闪长岩类杂岩体中含硫量为0.01—0.29%, 远远高于一般闪长岩, 表明深部原始岩浆本身含硫量很高, 它为岩浆期后含矿热液提供丰富的硫源。由表4可看出矿体中硫同位素在不同矿物内分布明显不平衡, 从矿化的早期到矿化的晚期 δS^{34} 有递增的趋势, 这与矿物生成顺序、矿液活动多期次的地质现象相吻合。促使矿体中硫同位素分馏的主要因素是热力学效应。在岩浆上

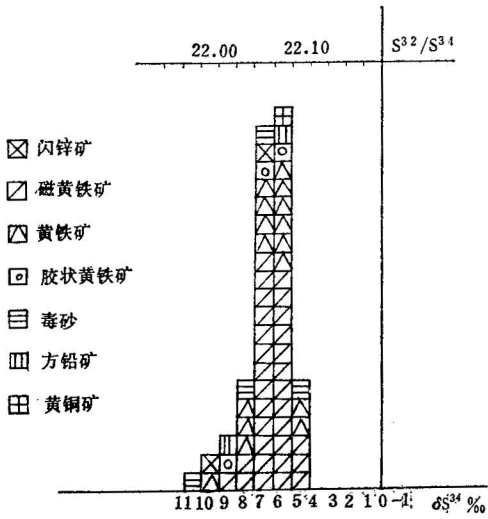


图 4 马山金矿矿体硫同位素频率直方图

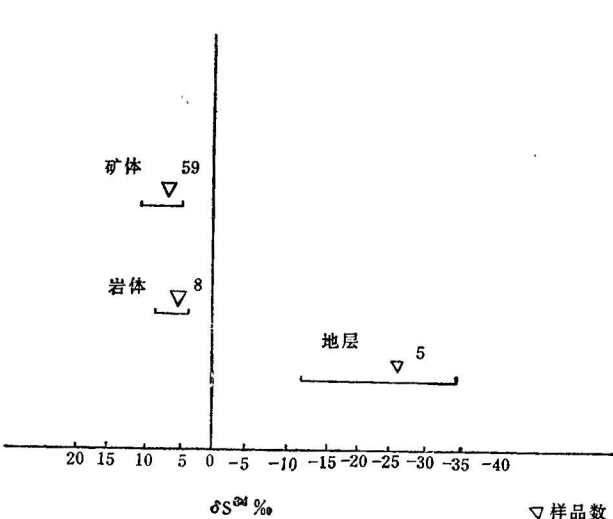


图 5 马山矿区矿体岩体地层硫同位素分布图

升和成矿作用的不同阶段、不同部位的温 度、pH、Eh、fO₂、fS₂等矿物化学条件不可能是一致的。而这些条件在特定范围内的微小变化就会导致矿化体系中不同部位的 H₂S、SO₂、等气体物质逸散度的差异，破坏了组分中的平衡，并使硫同位素发生分馏。成矿热液多期多阶段活动，扩大了 δs³⁴ 的离散系数。

（3）铅同位素特征

为了追寻马山金矿的成矿物质来源，在矿体、容矿石灰岩、接触带及岩体中共采集13个铅同位素样品，测定结果见表 7。矿石铅同位素组成比较稳定，Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ 在 18.22—18.78 之间，Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁴在15.34—15.74之间，变化小于0.3%，同位素组成比较均一，具明显的中生代 硫化矿床铅同位素的特点，与燕山期岩浆岩相应的初始铅同位素比值相当。反映了矿石与岩浆岩的成因关系。而沉积岩（赋矿围岩）岩石铅的同位素组成变化明显，Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴为18.25—20.37，

表 7 马山金矿床矿石铅及岩石铅的同位素组成表

顺序表	采 样 位 置	铅 同 位 素 组 成				成矿时代 (m. y.)
		Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	
			Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁴	
1	CK2509孔1014米矿体中方铅矿	1.37	18.22	15.34	38.43	114 143 112
2	CK2509孔844米脉状矿体中方铅矿	1.34	18.78	15.74	39.11	
3	岩体接触带中方铅矿	1.34	18.42	15.74	39.48	
4	天鹅抱蛋山闪长岩类岩体岩石铅	1.33	18.30	15.77	40.14	
5	CK342孔闪长岩体中岩石铅	1.34	18.19	15.60	39.84	
6	栖霞组灰岩岩石铅	1.25	20.07	17.26	41.65	
7	船山组灰岩岩石铅	1.35	18.75	15.47	38.73	
8	黄龙组灰岩岩石铅	1.30	19.08	16.52	40.33	
9	黄龙组白云岩岩石铅	1.33	18.83	16.08	39.28	
10	栖霞组灰岩（矿体围岩）	1.29	19.60	16.41	40.49	
11	船山组灰岩（矿体围岩）岩石铅	1.30	20.37	16.01	39.53	
12	黄龙组灰岩（矿体围岩）岩石铅	1.29	19.33	16.45	40.47	
13	黄龙组白云岩（矿体围岩）岩石铅	1.33	18.54	16.02	39.62	

注：中国科学技术大学陈江峰、陈移之、刘长福等测定。年龄数据为钾-氩法测定结果。

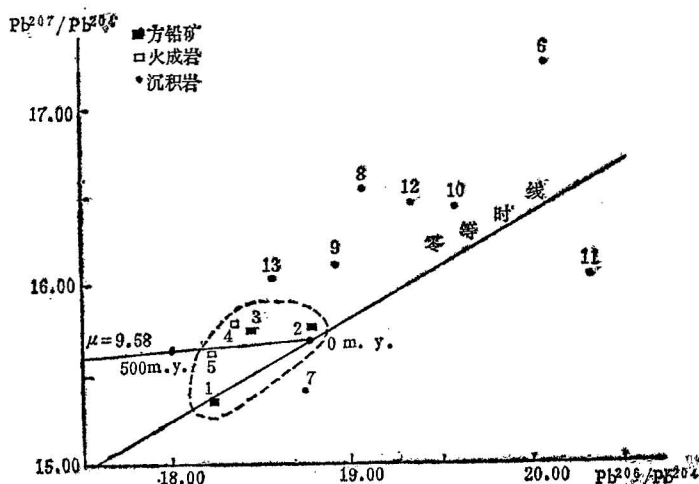


图 6 马山金矿铅同位素组成
(据B.R.多伊)

Pb^{207}/Pb^{204} 为 16.01—17.26, 差值很大, 表明这些地层沉积时物质来源不同。

从图 6 可以看出 8 个沉积岩岩石铅的点很分散, 而且源于高 μ 值区。而 3 个矿石铅同位素比值很集中, 而且和闪长岩体的比值一致, 投影点集中在一起。这种一致性说明两者是同源的, 即矿石铅来自岩浆源。这与矿石和岩体的硫同位素组成 δS^{34} 相近 而和地层的 δS^{34} 截然不同的变异相对应。

由图 6 可看出, 岩体岩石铅 (4, 5 号点) 所组成的等时线略较矿石铅 (1, 2, 3 号点) 向左偏离零等时线, 生成略早些。再根据 Holmes-Houtermans 模式计算^[4], 矿石铅为 114 百万年, 岩浆岩岩石铅为 112 百万年 (钾-氩法年龄为 143 百万年)。两者年龄相近 (均在粗铅法年龄误差范围内), 均为年青正常铅。而与围岩地层年龄相差甚大。这均表明前二者略具同时性。

3. 矿液运移方向

在矿区系统地采集包裹体标本 35 块, 均一法测定矿物包裹体 235 个; 金属矿物爆裂温度 19 个。本矿床包裹体类型有: (1) 液相包裹体, 气液二相共存以液相为主, 气液比 15%—30%, 大小 $2 \times 3 \mu - 10 \times 20 \mu$; (2) 含子晶矿物 (含 NaCl 子晶) 的多相包裹体。气、液包裹体的存在反映了矿物形成时的气化热液性质, 而同种矿物中不同类型包裹体的同时存在, 表明了气液活动的多阶段性。

235 个气液包裹体均一温度为 $434-170^{\circ}C$ ¹⁾; 主要金属硫化物的爆裂法测温为 $310-175^{\circ}C$ ²⁾。矿体中温度均高于围岩中同种矿物的温度。矿体中同种矿物在不同的标高从下到上有逐渐降低的趋势。据 25 线测温资料示意图 (图 7) 分析, 推测矿液是从深部向浅部方向运移的。

4. 金的赋存状态

用多种手段查明了本矿床的金以自然金类独立矿物相存在。据做电子探针分析的 16 个颗粒统计, 自然金 (金 > 95%) 占 18.75%; 含银自然金 (80% < 金 95% < %) 占 50%; 银金矿 (银 20—50%, 金 50—80%) 占 31.25%, 到目前为止还未发现金银矿和金的其他化合物。

金矿物粒径不等为 0.0031—0.17 毫米, 多为 0.02—0.025 毫米, 平均粒径 0.024 毫米。其形态

1) 由本所薛建环、钱晖二同志测定。

2) 吉林冶金地质勘探公司研究所金爱子等同志测定。

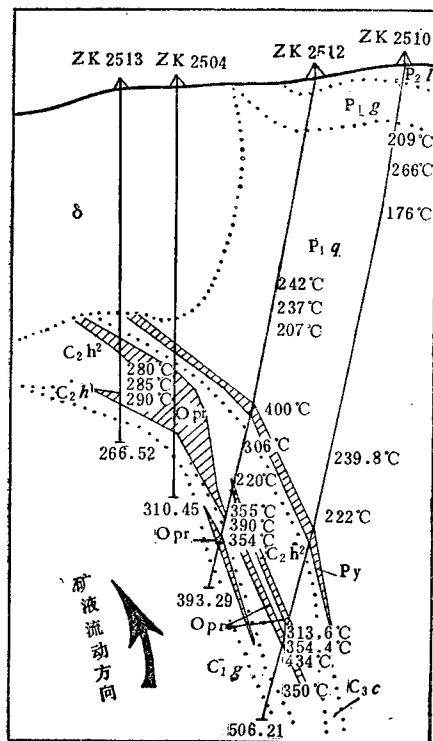


图 7 25线测温资料示意图

P₂l—龙潭组砂页岩；P₁g—孤峰组硅质岩；
P₁q—栖霞组灰岩；C₃c—船山组大理岩；
C₂h²—黄龙组上段大理岩；C₂h¹—黄龙组下
段白云石大理岩；C₁g—高骊山组砂页岩；
δ—闪长岩；Py—黄铁矿；Opr—磁黄铁矿；
350°C—测温温度

多为不规则粒状、线状、脉状、角粒状等充填在磁黄铁矿、毒砂及黄铁矿等矿物的晶隙和压碎裂隙中（照片3, 5）；也有呈浑圆粒状、自形粒状显微包体金包裹在菱铁矿、黄铜矿及铁闪锌矿等矿物中（照片4）。包体金中尚有次显微包体金（照片6）。

金的平均成色较高为821.53‰，与斑岩铜矿及矽卡岩型铁铜矿床中金的标型特征相近。而其中含铁、铜、铬、铂等微量元素，亦反映深源特点^[5]。

早期黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、石英组合（高温）中析出的金成色高，为965.3‰，晚期多金属硫化物阶段包在方铅矿中的金成色低为538.5‰。金的成色从高温到低温有逐渐降低的趋势，从而反映出金从矿液中析出的多阶段性。

综上所述，诸方面都反映出马山金矿床的成矿物质主要是深部同熔型安山质岩浆及其派生的侵入岩分异演化的最终产物，并显示出高一中温气化热液的特征。即使围岩地层中的金在成矿作用过程中能有少量被提取出来，那也是极其次要的。笔者在对该矿床多年的研究中，尚未见到具有表生沉积组构特征的矿石。因此，认为该矿床为“陆源碎屑堆积”、“沉积加热液改造”及“卡林型金矿”等提法，是值得商榷的。

三、金的迁移富集沉淀机制

研究表明，本矿床早期硫化物含金甚低，而晚期硫化物含金高（方铅矿个别样品达2700克/吨）；同种硫化物（磁黄铁矿）的含金量随S/Fe值的增高而递增。矿石中金属硫化物含量约占90%以上，因而含金矿液中是富硫的。Weissberg等（1970）实验证明，金在不同热液条件下，不论热液中含氯化物还是含硫化物均有较高的溶解度^[1]；Barnes等（1967）认为金在热液中主要呈硫代络合物运移的，如以AuS⁻形式^[1]，其反应如下：
$$2\text{Au}^{(s)} + \text{HS}^- + \frac{1}{2}\text{O}^{(s)} \rightleftharpoons 2\text{AuS}^- + 2\text{H}_2\text{O}^{(L)}$$

$K = 10^{29.7}$ （25℃），据Krauskopf（1951）资料认为，在含有H₂S的碱性溶液中金硫代络合物AuS⁻、AuS₂⁻和Au(SO₃)₂⁻特别稳定^[6]。对矿床中矿物生成顺序的分析认为：溶液的pH和Eh均有相应的变化，Д.С.科尔仁斯基指出，开始为碱性，经过酸性，在它的结束阶段达到弱碱性^[6]。

在岩浆演化的期后阶段，聚集富含HS⁻、Cl⁻、H₂S⁻、CO₂等挥发组分的含金热液，沿断裂带向低温扩容带方向运移，在运移和演变的过程中，随着温度和压力的降低，其矿质浓度增高；当温度降低到450℃以下（黄铜矿和铁闪锌的溶离温度）时，首先从矿液中沉淀出粗晶黄铁矿。

* S—固相；g—气相；L—液相。

磁黄铁矿和微量方黄铜矿等含金低的矿物组合。成矿期的构造应力作用使第一阶段沉淀的硫化物破碎, 产生的裂隙空间即为第二阶段(毒砂-黄铁矿)含金热液上升运移和沉淀的场所(该阶段包体测温为430—310℃)。当热液中仍有大量 H_2S 存在的情况下金是不会大量沉淀析出的。据 И. Я. Некрасов (1973) 资料, 在含0.17克分子硫化氢溶液中金的溶解度高达40毫克/升; 在0.32克分子硫化氢溶液中增加到125毫克/升, 溶液中金的硫代络合物有显著的稳定性^[6]。第二阶段沉淀析出的金少量, 通过扩散作用进入毒砂、黄铁矿中呈显微及次显微包体金(照片6)。

直到第四矿化阶段(多金属硫化物阶段, 包体测温280—210℃)的末期, 含金热液随着金属硫化物的大量晶出, 物理化学条件的改变, fS_2 降低, fO_2 及 Eh 增高, pH 降到7(菱铁矿、白铁矿等晶出反映 pH 应为5—7)以下, 在弱酸性溶液中由于 HS^- 比 H_2S^- 占优势, 金的硫化络合物 AuS^- 的稳定性急剧下降, $[AuS]^-$ 与溶液中的 Fe^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等发生反应: $4[AuS]^- + 2Fe^{2+} \rightarrow 4Au + 2FeS_2$ 。而使金大量还原析出, 呈自然金类矿物充填在早期矿物的晶隙或压碎裂隙中(照片3, 4, 5), 构成金矿石。故金矿体在块状硫铁矿体内断续分布。

四、几点结论

1. 矿区岩石微量金的测定、金的标型特征及硫、铅同位素等资料都反映出成矿物质的深源特征, 并表明深部岩浆为金的成矿母体。

2. 矿体与赋矿围岩为突变的接触关系、围岩具蚀变特征及包体测温资料均反映出矿液具高一中温气化热液性质。

3. 矿石物质成分的复杂性、矿物组合类型的多样性以及矿石组构特征表明, 成矿过程具多期“脉动”特点。

4. 由于结晶分异作用, 安山质钙碱性同熔岩浆由富钠质向富钾质方向的演化, 促进了金的运移和富集。

5. 马山金矿为与深部同熔岩浆侵入有关的高一中温热液矿床。长江中下游地区今后可注意在深断裂与背斜构造交汇部位, 含金较高的中酸性小杂岩体周围碳酸盐岩的断裂系统中寻找“马山式”金矿床。

在研究过程中曾得到朱奉三、王义文、郭文魁、高峰、汪正琼、苏立洛、王秉衡、汤新民、李应运、胡受奚等同志的指导和帮助, 文中应用了中国科学技术大学的铅同位素资料等, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Wedepohl, K. H., 1974. Handbook of geochemistry. Vol. II/4. pp. 79-1—790-1.
- [2] 格里年科, B. A., 1980, 硫同位素地球化学. 科学出版社.
- [3] 王义文, 1982, 我国主要类型金矿床同位素研究. 地质论评, 第28卷, 第4期.
- [4] Faur, G., 1977, Principles of isotope geology. John Wiley & Sons Inc. pp. 227—243.
- [5] 徐国风、邵洁莲, 1981, 金及相关金属矿物标型特征. 地球科学, 第2期.
- [6] Некрасов, И. Я., 1973, О соотношений и оловянного оруденения. Геология рудных месторождений. Том, XV, No. 3.

RESEARCH ON THE GENESIS OF THE MASHAN GOLD DEPOSIT IN TONGLING, SOUTHERN ANHUI

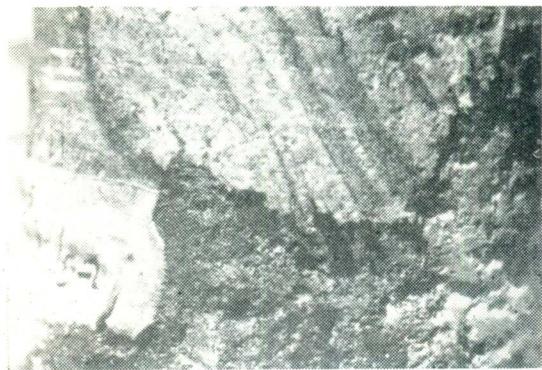
Zhou Zhen

(Research Institute, Anhui Metallurgical-Geological Exploration Corporation)

Abstract

According to the determination of microgold in rocks, the gold content of the regional strata in Tongling is in accord with the gold abundance of ordinary sedimentary rocks, and no beds containing an extraordinarily high gold content have been found. Besides, the strata in this district have not been subjected to metamorphism that can promote the micogold in the strata to be concentrated, therefore the sediments in this district do not act as source beds of the Mashan gold deposit.

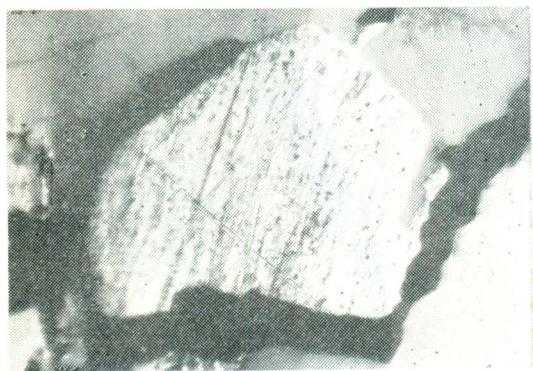
The mineralization of the Mashan gold deposit is genetically related to the intrusion, differentiation and evolution of a diorite complex in the Tian'ebodan Mountain near Tongling. This is evidenced not only by the presence of a very high content of microgold in the complex (9.8ppb, about 3—4 times as much as the gold abundance of the normal diorite), but, more important, by the sulfur and lead stable isotope data, which indicates that the orebody and the complex were derived from the same source and that their model ages are in the main coincident. The orebody occurs in the carbonate strata in the exocontact zone of the complex; the contact relationships between the orebody and the host rocks are abrupt. The mineralization exhibits the characteristics of polyphase "pulsation" type. These, combined with the temperature data of the inclusions, show that the Mashan gold deposit is a high-to intermediate-temperature hydrothermal deposit related to the magma that was intruded at considerable depth.



照片 1 矿体中条带状结晶灰岩角砾。(原大)



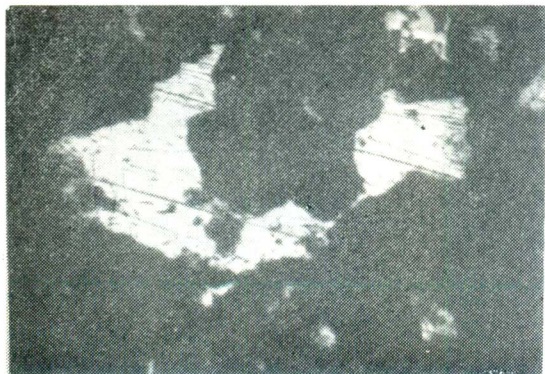
照片 2 偏胶状黄铁矿脉斜切结晶灰岩微层理。白色为矿脉中方解石晶洞。 $\times 1.5$



照片 3 磁黄铁矿压碎裂隙中与菱铁矿脉(黑色)连生的自然金(白色为擦痕)金明显晚于磁黄铁矿,边部有充填现象。 $\times 390$



照片 4 黄铁矿压碎裂隙被铁闪锌矿充填胶结(灰黑色),并包含有椭圆状自然金包体(白色多擦痕者)。 $\times 376$



照片 5 石英、菱铁矿晶隙中充填有半环状自然金(白色多擦痕者),构成充填结构。 $\times 580$



照片 6 毒砂浸渣中浑圆粒状包体金(白色)扫描电镜(中国科学技术大学物理实验室) $\times 2000$