

黄马金矿床中黄铁矿的标型及其意义

朱雅林

(冶金部华东地勘局地质研究所·合肥市)

据黄狮涝山—马山（简称黄马）金矿床中主要载金矿物——黄铁矿的标型、含金性、矿化富集规律、形成机制等方面分析，提出该金矿床系沉积、热液叠加改造成因。

关键词 黄马金矿床 黄铁矿 标型意义



黄铁矿工作

黄马金矿床位于长江中下游多金属成矿带的铜陵成矿区内，构造上处在扬子准地台下扬子台坳贵池—繁昌断褶束铜官山背斜的东南翼。矿区出露地层为志留系滨海相砂岩，泥盆系上统陆相砂岩，石炭系滨—浅海相灰岩，以及二叠系，三叠系下、中统。

泥盆系上统五通组 (D_3w) 分两个岩性段：下段 (D_3w^1) 为石英砂岩、粉砂岩、页岩，底部有厚 0.5~5m 的底砾岩；上段 (D_3w^2) 原定为石炭系高丽山组 (C_1g)，地科院南京地科所李汉民等据该段内所含化石改定为泥盆系上统。该段与下段呈连续沉积过渡，上部普遍发育黄铁矿、胶状黄铁矿，局部见火山碎屑物质和层凝灰岩。

泥盆系五通组上段、石炭系黄龙组下段 (C_2h^1) 与二叠系栖霞组 (P_1q) 是区内重要的沉积—改造型铁、硫、金矿床的赋存层位。

铜官山背斜区内，有北东向纵断层、北西向横断层、北北西和北西西向斜断层。其中以纵断层规模最大，泥盆系与石炭系层间断裂是主要的控矿断裂构造。

区内燕山期中浅成酸性岩株与岩枝（脉）广泛发育，主要有金口岭、铜官山和马山岩体。马山岩体与金矿床在空间上关系密切（图 1）。

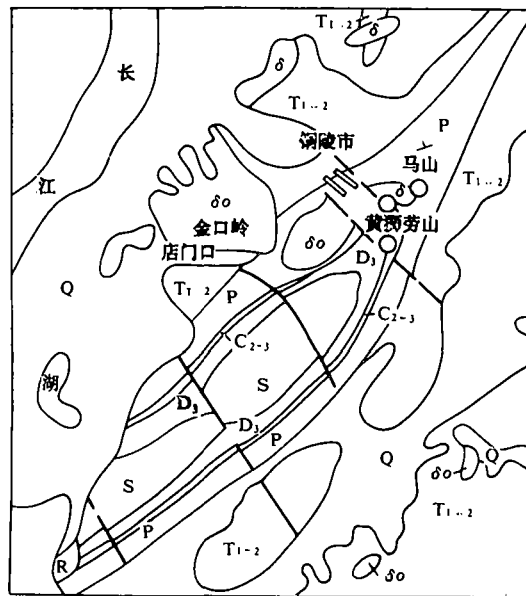


图 1 铜陵黄马金矿地质略图

Q—现代堆积；R—第三系大通组； T_{1-2} —三叠系中下统；P—二叠系； C_{2-3} —石炭系中上统； D_3 —泥盆系上统；S—志留系； δo —石英闪长岩； δ —闪长岩

本文 1992 年 3 月收到，范若芬编辑。

黄铁矿的物理特征

由表1可以看出:

1. 黄铁矿多为淡黄—浅稻黄色, 随含金量增高而呈黄—铜黄色。晶形以他形晶粒状为主, 另有少量立方体; 岩体和矿体中的黄铁矿无晶面条纹(围岩中则不然), 表明与成矿有关的结晶环境相对稳定; 五角十二面体仅在马山金矿和围岩中见及。黄铁矿粒度一般较细, 马山矿段的较粗, 黄狮涝山矿段次之, 岩体中的最小。黄铁矿的电磁性, 以马山最强, 其他为弱至中等。

2. 黄铁矿的显微硬度一般为 2114 kg/mm^2 , 黄狮涝山较马山的略低, 含金黄铁矿显微硬度往往偏低, 原因是有 As、Sb、Bi 等杂质加入, 改变了黄铁矿的内部结构, 使晶体发生线状位移。此外, 包裹体的存在, 也会降低其硬度。故黄铁矿硬度的大小可以指示矿化程度, 是找矿评价的标志之一。

3. 黄铁矿的晶胞参数 a_0 为 $5.4120 \sim 5.4220 \text{ \AA}$, 马山矿段与理论值接近, 黄狮涝山矿段与围岩中的略低。这与黄铁矿形成时的硫逸度和温度等有关; 硫逸度低时, a_0 减小; 较高温度下形成的黄铁矿晶胞较小。

4. 黄铁矿的爆裂温度为 $430 \sim 180^\circ\text{C}$, 有利于金矿化的温度为 $360 \sim 270^\circ\text{C}$, 尤以 $360 \sim 300^\circ\text{C}$ 最佳, 富矿段内的黄铁矿多在此区间; $< 270^\circ\text{C}$ 的黄铁矿几乎无工业价值。故黄铁矿的形成温度, 也是一个找矿评价的标志。

5. 马山矿段黄铁矿的热电性均为 p —空穴导型, 热电系数 a 值为 $+189 \sim 428.8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 预测更深部将出现混合导型和电子导型; 黄狮涝山矿段上部的黄铁矿, p —空穴导型占 87%, 局部出现混合导型和少量 n —电子导型, a 值覆盖范围 $-277 \sim +719 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。统计结果表明, 黄铁矿含金量与 a 值呈正相关。如 ZK6402 的 a 值

$+706 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 含金量 56.4×10^{-6} 。 a 高值区适与富矿部位相重叠; $a < 350 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 的矿石含金量往往低于工业品位; 围岩中的黄铁矿空穴导型占 75%, a 值较低。由此可见, 黄铁矿的热电性特征可为寻找盲矿体提供信息, 也是重要的找矿评价手段和标志。

成分特征

1. 由表1可知, 黄铁矿中的 S、Fe 均较理论值低, 岩体中的黄铁矿明显亏 S ($S/\text{Fe} < 1$); 围岩中则显著富 S; 矿体中的黄铁矿略低, 介于沉积岩(接近理论值)与岩浆热液型(< 1)之间, 显示了矿床系沉积并有热液叠加改造的成因信息。

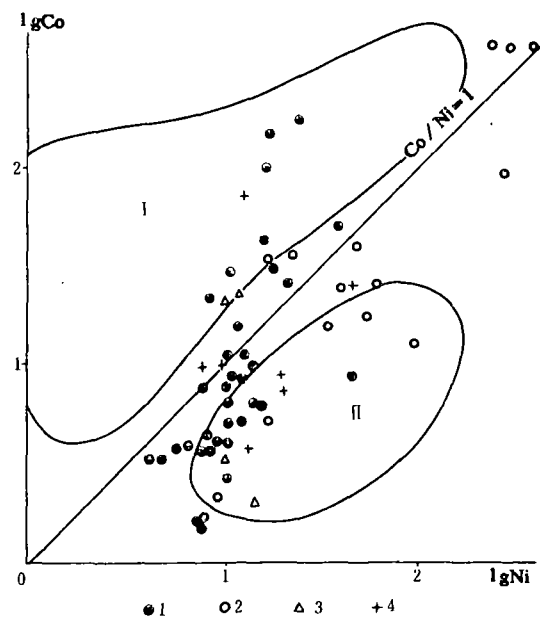


图2 黄马金矿黄铁矿 Co/Ni 比值图

(仿童潜明, 1984)

1—黄狮涝山矿体中黄铁矿; 2—围岩中黄铁矿; 3—马山矿体中黄铁矿; 4—黄马岩体中黄铁矿; I—与岩浆岩有关的矿床; II—沉积改造矿床

2. Au、Ag 含量不高, $\text{Au}/\text{Ag} < 0.5\text{g}$, 而岩体中黄铁矿的 Au/Ag 为 2.09。据宋焕斌资料, $\text{Au}/\text{Ag} > 0.5$ 为热液成因, < 0.5 为火山岩型、沉积变质热液型。对比

之下,岩体中黄铁矿显示内生热液成因,矿体中黄铁矿则属沉积改造型范畴。

3.矿床中 Co、Ni 含量均不高(表 1),除少数样品高达 $300 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 外,一般均为 $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 。Co / Ni 以岩体中黄铁矿最高,达 6.33;马山矿段 > 1 (均值);黄狮涝山矿段 > 1 的仅占 32%, < 1 的占 67%;围岩中的多 < 1。由图 2 可见,矿体中黄铁矿 Co / Ni < 1 的样品投影点,多落在靠近 Co / Ni = 1 的斜线下方沉积改造型矿床范畴。Co / Ni > 1 的样品,

多落在斜线上方岩浆热液型矿床范围内;部分则落在斜线附近的 I、II 区之间,显示了其过渡特征。围岩中的黄铁矿样品多落在斜线下方 $\lg \text{Ni} 1.5 \sim \lg \text{Ni} 2$ 的区间,矿石中的则分布于 $\lg \text{Ni} 0.6 \sim \lg \text{Ni} 1.2$ 的范围内。马山矿段和围岩中的黄铁矿,既具内生成因又有沉积成因的特征;而黄狮涝山矿段的则主要呈现沉积成因特征,仅小部分为内生成因。这也揭示了黄铁矿是不同成因、不同期次的产物。

表 1 黄马金矿床黄铁矿特征表

项目	马山矿段	黄狮涝山矿段	马山岩体	围岩
颜色	淡黄—浅稻黄色	淡黄—浅稻黄、铜黄色	淡黄色	浅黄绿—浅稻黄色
晶形	多为不规则形,少量立方体和五角十二面体	多为他形,少量立方体(局部发育)	他形,细粒,偶见立方体	多为他形,少量立方体,表面有纵纹;偶见五角十二面体
粒径(mm)	0.5~5,以 0.5~1.2 居多	0.05~3,以 0.5~1.5 居多	0.05~0.3 为主	0.1~1
电磁性	强	弱—中性		弱中性
显微硬度 (kg / mm ²)	VHN ₁₀₀ = 1500	VHN ₁₀₀ = 1195		
晶胞参数(Å)	5.4168~5.4220(2)	5.4126~5.4135(2)		5.4120~5.4168(4)
爆裂温度(℃)	400~180,有利成矿温度为 360~270(122)	390~230,有利成矿温度为 360~300, (48)	410~300(3)	430~310(6)
热电性 (a, μV / ℃)	p—空穴导型, a = +189~+428.8。深 1000m 左右出现 n—电子导型(4)	p—空穴导型为主,占 87.5%, a = +173~719。局部出现混合导型和 a 为负值 (-128~-277)的 n—电子导型(24)		p—空穴导型占 75%, a = +173~+586; n—电子导型占 25%, a = -281(4)
S(%)	52.32(5)	49.76(26)	42.41(3)	50.74(9)
Fe(%)	46.46	43.53	43.70	42.66
S / Fe	1.126	1.133	0.970	1.189
Au(10 ⁻⁶)	1.7~7.8 / 4.23	0.32~56.4 / 7.50	0.022	0.02~3.8 / 0.799
Ag(10 ⁻⁶)	2.9~57.4 / 29.17	0.35~57.4 / 15.24	0.011	0.37~12.18 / 6.74
Au / Ag	0.190	0.492	2.09	0.115
Co(10 ⁻⁶)	2.2~36.2 / 16.13(4)	1.6~176.6 / 28.20(35)	76(7)	12.50~42.60 / 25.45(15)
Ni(10 ⁻⁶)	8.9~13.6 / 11.73(4)	4.75~43.4 / 13.12(35)	12(7)	15.95~90.05 / 46.07(15)
Co / Ni	1.38	> 1 占 32.5%, < 1 占 67.5%	6.33	0.552
Se(10 ⁻⁶)	0.3~10.3 / 1.10	0.01~111 / 1.34	2	0.13~3.40 / 1.25
Te(10 ⁻⁶)	2.9~8.0 / 5.73	0.01~46.9 / 15.45	99	5.8~42.0 / 17.46
Se / Te	0.594	0.038	0.020	0.071
S / Se	47.56 × 10 ⁴	37.13 × 10 ⁴	21 × 10 ⁴	40.59 × 10 ⁴
As(10 ⁻⁶)	2015	8447.87	9650	1703.16
Sb(10 ⁻⁶)	16.67	54.28	37	401.56
Bi(10 ⁻⁶)	113.23	72.83	77	49.92
Cu(10 ⁻⁶)	592	1973.83	395	92.92
Pb(10 ⁻⁶)	766.67	1609.72	47	102.53
Zn(10 ⁻⁶)	915.67	907.55	972	101.53

注: () 内为样品数; 分母为平均值。

4. Se、Te 含量一般较低 (平均值 $\text{Se} < 2 \times 10^{-6}$), 多数 $\text{Se} < \text{Te}$ 。以 $\text{S} / \text{Se} > 3 \times 10^4$ 作为内生和同生沉积成因界限 (据王奎仁, 1988), 则本区黄铁矿的成因属后者。

5. As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn 含量, 岩体中的黄铁矿含 As 最高, 黄狮涝山矿段的次之; Sb、Bi 含量, 分别以围岩和马山矿段的最高; Cu、Pb、Zn 含量则以黄狮涝山矿段的为最, 次为马山矿段的黄铁矿。

金在黄铁矿中的赋存状态

通过反光显微镜、电子探针和化学物相等方面的观察、分析研究, 发现金主要呈微细粒和次显微状态存在于黄铁矿中。金的粒径 $1 \sim 40 \mu\text{m}$, 呈微粒状、麦粒状嵌布于黄铁矿晶隙中, 这一部分金系黄铁矿在重结晶过程中将其归并聚集所致; 呈枝叉状、微脉状嵌布的金, 则系后期含金溶液充填于早期黄铁矿晶隙或隐微裂隙中沉淀而成。对黄铁矿的化学物相研究表明, 包裹金占金总量的

43.92%~73.00%, 这一部分次显微金与黄铁矿同期生成, 当属无疑。

同位素地质特征

1. 硫同位素组成特征: 矿体与岩体黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S} > 5\%$, 这与拉张环境下海底热体系的特征 (Rye, 1984) 相似, 也反映了岩体与矿体中硫均一化程度较高。围岩黄铁矿中的 $\delta^{34}\text{S}$ 含量与矿石中的相差甚大, 且均为负值, 这与生物作用等因素有关。

2. 铅同位素组成特征: 如表 2 所示, 岩体、矿体和围岩黄铁矿中的铅, 均为年轻正常铅。由表 2 可见, 铅同位素组成特征, 矿体与围岩的近似, 而与岩体的差别较大 (岩体中的 $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 明显较低), 指示矿床物质主要来自围岩。

据黄狮涝山矿段 60~70 线间充填交代黄铁矿的铅模式年龄为 144Ma (H-H 模式), 与马山岩体的年龄相近。

综上所述, 可以认为占大部分的结核

表 2 黄马金矿床黄铁矿同位素组成特征表

同位素	马山岩体	马山矿段	黄狮涝山矿段	围岩
$\delta^{34}\text{S}$	3.40~8.70 (5.66)	4.56~9.60 (6.42)	2.76~7.30 (5.16)	-13.0~-29.3 (-14.12)
$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	17.968~18.300 (18.009)	18.221~18.396 (18.325)	18.247~18.354 (18.308)	18.239~18.451 (18.384)
$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	15.570~15.700 (15.615)	15.576~15.656 (15.610)	15.553~15.580 (15.562)	15.582~15.737 (15.662)
$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	38.315~40.140 (39.399)	38.334~38.597 (38.450)	38.236~38.422 (38.299)	38.379~38.860 (38.632)

() 内的为平均数。

状、细粒以及胶状黄铁矿, 是同生沉积成因; 同时也有小部分中粗粒黄铁矿 (包括其中的金矿) 确为燕山期产物, 后者叠加于前者之上。矿床形成的机理是: 早石炭世同生沉积作用形成的含金黄铁矿, 经受长期地下热卤水渗滤交代作用, 金矿在适当的部位得到初步富集; 燕山期构造—岩浆活动作用, 带来了部分 Au、Ag、As、Sb、Bi、Co、Ni、S、Te 等成矿物质, 叠加在同生沉积

的含金黄铁矿上, 并在有利构造部位——倾没背斜的倒转翼, 富集成为金矿床。其物理特征和化学组分在不同部位表示出来的差异, 说明存在着成因的不同和生成时期不一。

此外, 黄狮涝山矿段上部, 还遭受到后期氧化, 由于次生淋滤—富集作用, 导致局部金品位增高, 粒度加大, 而成色降低, 形成了本区独具特色的铁帽型金矿床。